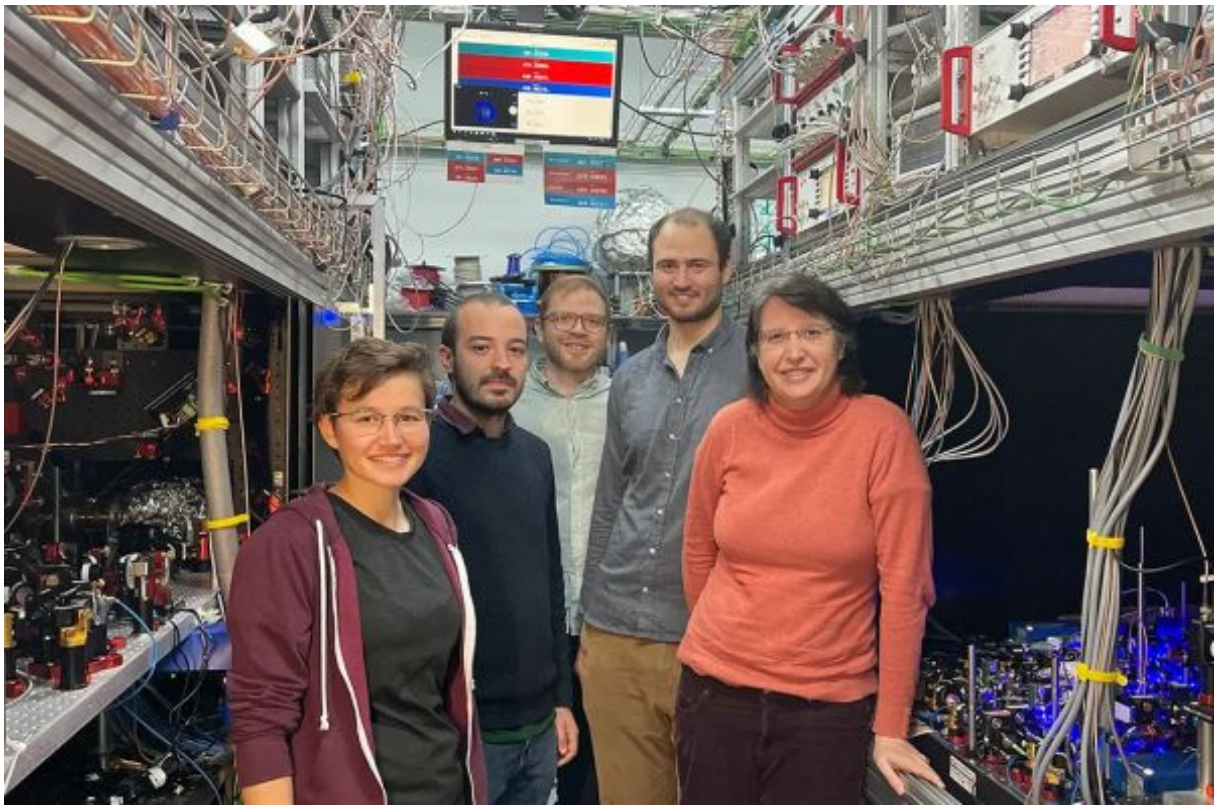


Neix QUIONE, un processador quantic analogic unic al mon

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 tecniques 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 Makhalov** i **Dr. Antonio Rubio-Abadal**, dirigits per la investigadora **ICREA de l'ICFO Letici Tarruell** expliquen com han construit 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: i¿½La 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 algun**s materials condueixen electricitat sense perdues** fins i tot a temperatures relativament altesi¿½. 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 Fundac o 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 Digita s del Departament d'Empresa i Treball, en el marc de l'aposta del Govern catala per l'impuls e les tecnologies quantique

. La singularitat d'aquest experiment recau en el fet que han aconseguit portar e**l 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 tecniques 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**. Aixo 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. Aixi 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 practicament 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 mecanic 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 mante els atoms ordenats a l'espai formant una quadricula. i¿½Pots imaginar-te u
a ouera, on els buits individuals s'omplen amb els ous. Pero en comptes d'ous tenim atoms i
n comptes d'una ouera tenim la xarxa opticai¿½, explica Sandra Buob, primera autor
de l'arti
le. Els atoms a l'ouera interaccionaven entre si, de vegades experimentant l'efecte tunel
per moure's d'un lloc a l'altre. Aquesta dinamica quantica entre atoms imita la dels electron
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 simulacio quantica**.
Quan el gas i la xarxa optica van estar a punt, els investigadors van realitzar les imatges amb el seu microscopi i, finalment, van poder observar el seu gas quantic d'estronci atom a atom. Arribats a aquest moment, la construccio de QUIONE ja havia estat un exit, pero els seus creadors li van voler treure encara mes partit.
Aixi, a mes de les fotografies, van fer videos dels atoms i van poder observar que, si be els atoms haurien de romandre quiets durant la presa d'imatges, de vegades saltaven a un punt de la xarxa proper. Aixo es pot explicar per **l'efecte tunel**. i¿½Els atoms estaven i¿½saltan
i¿½ d'un lloc a l'altre. Va ser un proces molt bonic de veure, ja que literalment e
tavem presenciant una manifestacio directa del seu comportament quantic inherenti¿½, comen
a Buob. Finalment, el grup de recerca va utilitzar el microscopi de gasos quantics per confi
mar que el **gas d'estronci** era un **superfluid**, una fase quantica de la materia que flueix sense viscositat. i¿½Vam apagar el laser de xarxa de cop i volta perque els atoms poguess
n expandir-se en l'espai i interferir entre si. Aixo va generar un patro d'interferencia, a causa
e la dualitat ona-particula dels atoms al superfluid. Quan el nostre equip el va captar, v
m comprovar la presencia de superfluidesa a la mostrai¿½, explica el Dr. Antonio Rubio-Aba
al. i¿½Es un moment molt emocionant per a la simulacio quanticai¿½, comparteix la pr
fessora ICREA Leticia Tarruell. i¿½Ara que hem afegit l'estronci a la llista de microscopi
de gasos quantics disponibles, aviat podrem simular materials mes complexos i exotics. Aleshores s'espera que sorgeixin noves fases de la materia. I tambe esperem obtenir molta mes potencia computacional per utilitzar aquesta maquinaria com a **ordinadors quantics analogics**i¿?

. _

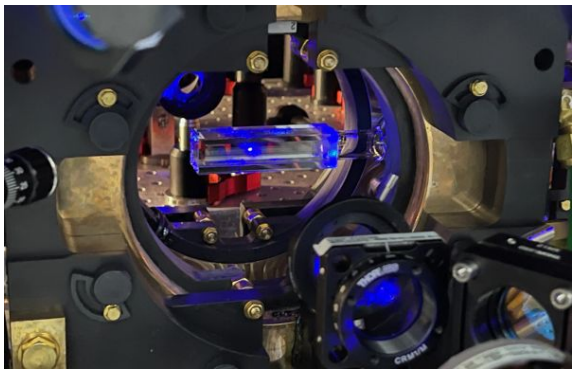
Sobre QUIONE i les Tecnologies Quantiques

QUIONE es un programa creat per ICFO que te com a objectiu utilitzar processadors quantics basats en atoms ultrafreds detectats i controlats individualment per resoldre problemes dificils per als ordinadors classics. El programa inclou el processador quantic analogic QUIONE I, el microscopi de gasos quantics esmentat a l'estudi, i un processador hibrid analogic-digital anomenat QUIONE II, que actualment es troba en construccio. QUIONE forma part dels vuit grans programes que la Generalitat de Catalunya, a traves de la Secretaria de Politiques Digitals, cofinanca en el marc de la seva aposta per l'impuls de les

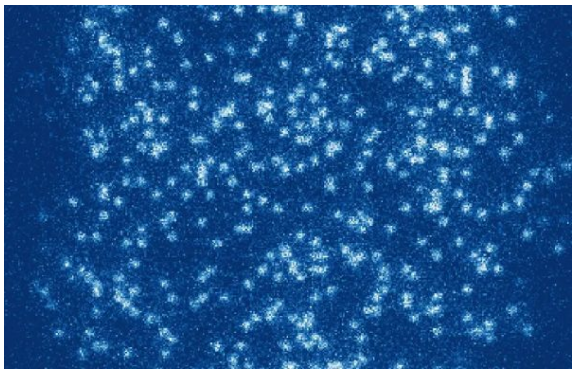
tecnologies quantiques.

Acknowledgements

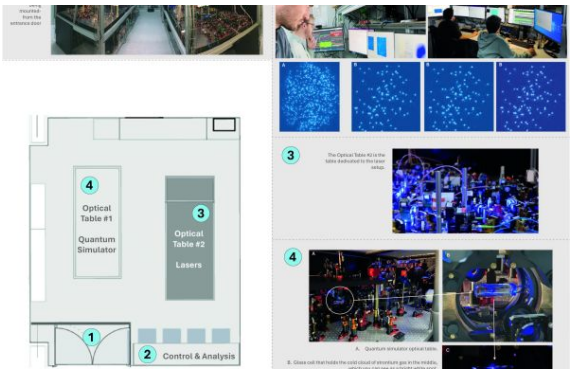
We acknowledge discussions with S. Blatt, A. Kaufman, V. Klüsener, A. Park, P. SchauSs, A Young, J. Zeiher, and the other members of the ICFO Quantum Gases Experimental group We thank M. Miranda for the band-structure calculations and S. Hirthe for contributions t the reconstruction algorithm and for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



El nuvol d'atoms d'estronci al mig de la cel·lula de vidre



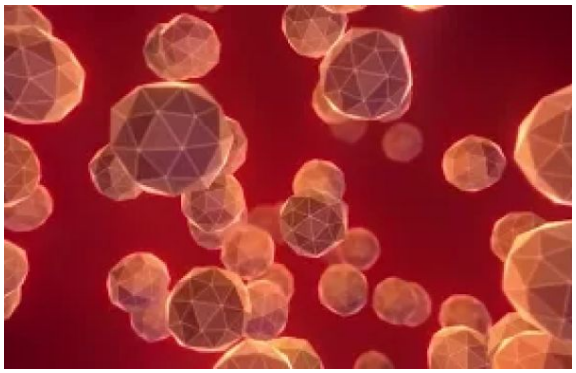
Instantania dels atoms individuals d'estronci a la xarxa optica



mapa grafic del laboratori, amb el simulador quantic



Entrevistes als investigadors



QUIONE: un simulador quantic