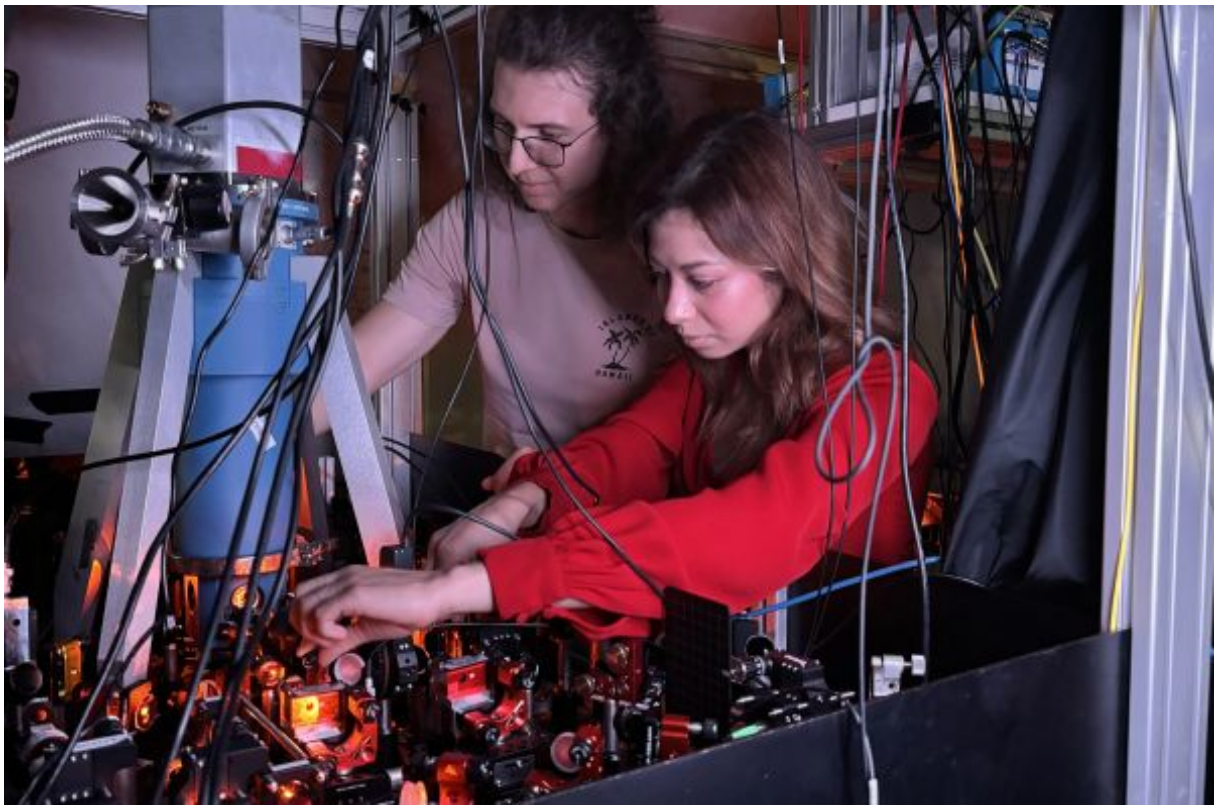


El conjunt de memories quantiques en serie de l?ICFO ens apropa a la RAM quantica

Els investigadors de l'ICFO han desenvolupat un conjunt de deu memories quantiques en serie. Podent-se controlar individualment, aquestes memories poden emmagatzem r multiples qubits (l'analeg quantic del bit) de manera simultania i recuperar-los quan sigui necessari. Aquest assoliment constitue x un gran pas cap a la realitzacio de sistemes de memoria quanti a que funcionin amb la mateixa flexibilitat que les actuals memori s d'acces aleatori (conegudes com a RAM, per les seves sigles n angles).

Aquest sistema d'estat solid, anunciat a Physical Review X, es basa en una configuracio previament desenvolupada pels mateixos investigadors amb 250 i¿½espais vacantsi¿½ per al poten ial emmagatzematge d foto, la qual cosa constitueix l'actual record mundial per a un dispositiu d'aquestes caracteristiques. Aixo ens acosta a l'equivalent quantic d'una memoria RAM, e

qual es clau per avancar en computacio i comunicacio quantiques.

August 26, 2025

Internet, les xarxes socials i les tecnologies digitals han transformat completament la manera com establim relacions comercials, personals i professionals. En essencia, aquesta societat depen de l'intercanvi d'informacio expressada en termes de bits. Aquesta unitat basica d'informacio pot ser un 0 o un 1, i sol representar-se en circuits electrics, per exemple, com dos nivells de voltatge (un que representa el bit en estat 0 i l'altre en estat 1).
La capacitat d'emmagatzemar i manipular bits de manera eficient constitueix la base de l'electronica digital i permet que els dispositius moderns realitzin una gran varietat de tasques, des d'enviar correus electronics i reproduir musica fins a fer simulacions numeriques. Tots aquests processos son possibles gracies a components de hardware claus com les memories d'acces aleatori (RAM), les quals permeten emmagatzemar dades temporalment i recuperar-les a peticio.
En paral·lel, els avencos en fisica quantica han donat lloc a un nou tipus d'unitat d'informacio el qubit. A diferencia dels bits classics, que son estrictament 0 o 1, els qubits poden existir e una superposicio d'ambdos estats alhora. Aquesta peculiaritat obre noves possibilitats per a processament i l'emmagatzematge d'informacio, tot i que les seves implicacions practique encara s'estan explorant

Els futurs ordinadors quantics i internet quantic requeriran, de la mateixa manera que el classics, memories quantiques (en particular, memories quantiques d'acces aleatori) pe emmagatzemar i recuperar qubits. Malgrat que existeixen diversos enfocaments pe codificar qubits i implementar memories quantiques, encara cap d'ells s'ha consolidat com opcio estandard

Ara, els investigadors de l'ICFO, e**Dr. Markus Teller**, la **Susana Plascencia**, la **Cristina Sastre Jachimska** i el **Dr. Samuele Grandi**, sota la direccio del **Prof. ICREA Hugues de Riedmatten**, han assolit una fita important en el desenvolupament de memories quantiques d'estat solid, una de les plataformes mes prometedores per a l'emmagatzematge d'informacio quantica.
En un article recent a Physical Review X, utilitzen un conjunt de deu memories en serie controlables individualment per emmagatzemar qubits en combinacions arbitraries d'aquestes cel·les de memoria i despres recuperar-los a voluntat. Aquests resultats es base en una publicacio anterior anpj Quantum Information, on van introduir per primera vegada aquest conjunt.
La seva feina s'ha centrat en dues codificacions de qubits ampliament utilitzades en tecnologies quantiques fotoniques: la codificacio per trajectoria, on el qubit es defineix per la memoria on entra el foto, i la codificacio per intervals temporals, on el qubit es codifica segons el moment d'arribada del foto (en un interval de temps anterior o posterior). En aquest darrer cas, l'equip va implementar una caracteristica unica en el seu enfocament: la

possibilitat d'emmagatzemar fotons en multiples intervals de temps dins de cada cel·la d memoria

Deu cel·les, un cristall: avencos en comunicacions i computacio quantica

En l'article de npj Quantum Information, l'equip va crear la formacio de deu memories quantiques utilitzant un cristall dopat amb praseodimi i refredat a 3 Kelvin dins d'un criostat. En aquest cristall, van assignar 250 i¿½espaisi¿½ d'emmagatzematge, o m des espaciotemporals, cadascun amb el potencial d'emmagatzemar un foto, assolint l'ac ual record mundial per a un dispositiu d'estat solid amb **recuperacio a peticio**. Aquesta fita es realment notable, ja que la capacitat de recuperar qubits a peticio es tecnicament molt dificil d'implementar i, tanmateix, es essencial a l'hora de sincronitzar xarxes quantiques. Posteriorment, l'equip va utilitzar una configuracio similar (deu cel·les de memori controlables individualment, pero amb menys modes disponibles) per emmagatzema diversos cubits i recuperar-los en el moment oportu, cosa que finalment va donar lloc l'article aPRX. Per aconseguir-ho, deflectors acusto-optics van dirigir polsos laser al cristall, permetent escriure i llegir cubits en combinacions arbitraries de cel·les. L'analisi posterio dels fotons recuperats va mostrar que el conjunt de memories quantiques en seri preservava els estats quantics originals amb una fidelitat molt raonable

Per acabar de demostrar el potencial de la seva configuracio, l'equip va emmagatzemar do qubits codificats en intervals temporals i els va recuperar simultaniament.**Aquestes capacitats ens acosten un pas mes a una memoria RAM quantica d'estat solid**, amb aplicacions en computacio i comunicacio quantica. i¿½Preveiem que es podria combin r aquesta plataforma amb una font d'estats de cluster fotonics per a la **computacio quantica basada en llum**i¿½, comparteix el Dr. Markus Teller, primer coautor de l'estudi. i¿½En aq est escenari, el conjunt de memories quantiques en serie emmagatzemaria cada vegada mes fotons fins que es formes un gran estat quantic entrellacat. Aleshores podrien comencar les operacions quantiques

i¿½ El sistema tambe podria impulsar els **repetidors quantics**, l'eix vertebrador del futur internet quantic. Aquests dispositius busquen estendre la comunicacio quantica a grans distancies distribuint el recurs quantic de l'entrellacament al llarg de segments successius. i¿½E s experiments anteriors amb solids s'havien d'aturar despres d'intentar establir entrellacame t nomes unes desenes de vegades, ja que calia esperar que retornes un senyal anunciant- e l'exiti¿½, explica Susana Plascencia, investigadora de l'ICFO i coautora de l'estudi. i¿½ mb la nostra proposta, **ja no cal esperar el senyal d'exit** (almenys, fins a una certa distancia). En lloc d'aixo, podem utilitzar una altra cel·la de memoria i continuar intentant-ho.i¿½ Omplir aqu st temps mort amb nous intents podria augmentar la taxa a la qual l'entrellacament (i, per ta t, la informacio quantica) es transfereix a llargues distanci

s. Per tal d'aprofitar plenament el potencial de les formacions proposades de memor es quantiques amb multiplexacio temporal (com son tecnicament anomenades), cal millorar

ne el rendiment (per exemple, en termes d'eficiencia i temps d'emmagatzematge), augmentar el nombre de cel·les de memoria i aconseguir emmagatzemar entrellacament; reptes que els investigadors hauran d'enfrontar proximam
nt. En conjunt, aquest estudi representa un pas significatiu cap a l'equivalent quantic d una memoria RAM, un dispositiu amb moltes possibles aplicacions en comunicacio i comput cio quantica que encara romanen ober

Acknowledgements

This project received funding from: Gordon and Betty Moore Foundation (GBMF7446 to H.d.R); EU Horizon Europe Research and Innovation program (EuroQCI in Spain) (Project no.101091638); European Union's Horizon 2020 Research and Innovation Program under the Marie Sk?odowska-Curie grant agreement number 956419 (NanoGlass); European Union research and innovation program within the Flagship on Quantum Technologies through Horizon Europe project QIA-Phase 1 under grant agreement no. 101102140; Agencia de Gestio d'Ajuts Universitaris i de Recerca; Centers de Recerca de Catalunya; FUNDACIO Privada MIR-PUIG; Fundacion Cellex; Government of Spain, Ministerio de Ciencia e Innovacion with funding from European Union NextGeneration funds (MCIN/AEI/10.13039/501100011033, PLEC2021-007669 QNetworks, PRTR-C17.I1- Plan Complementario de Comunicaciones Cuanticas); Agencia Estatal de Investigacion (PID2019-106850RB-100, PID2023-147538OB-I00, Severo Ochoa CEX2019-000910-S). M.T. acknowledges funding from the European Union's Horizon 2022 research and innovation program under the Marie Sklodowska-Curie grant agreement No 101103143 i¿½Two-dimensionally multiplex d on-demand quantum memoriesi¿½ (2DMultiMems). S.G. acknowledges funding from i ?½la Caixai¿½ Foundation (ID 100010434; fellowship code LCF/BQ/PR23/11980044).

Referencias:

M. Teller, S. Plascencia, C. Sastre Jachimska, S. Grandi, and H. de Riedmatten. et al. A solid-state temporally multiplexed quantum memory array at the single-photon level. npj Quantum Inf **11**, 92 (2025). DOI: https://doi.org/10.1038/s41534-025-01042-9

M. Teller, S. Plascencia, S. Grandi, and H. de Riedmatten. Quantum storage of qubits in an array of independently controllable solid-state quantum memories. Phys. Rev. X **15**, 031053 (2025). DOI: https://doi.org/10.1103/z6lc-qw2d



D?esquerra a dreta, Hugues de Riedmatten, Samuele Grandi, Markus Teller, Susana Plascencia i Cristina Sastre Jachimska davant l?edifici principal de l?ICFO. ©ICFO.