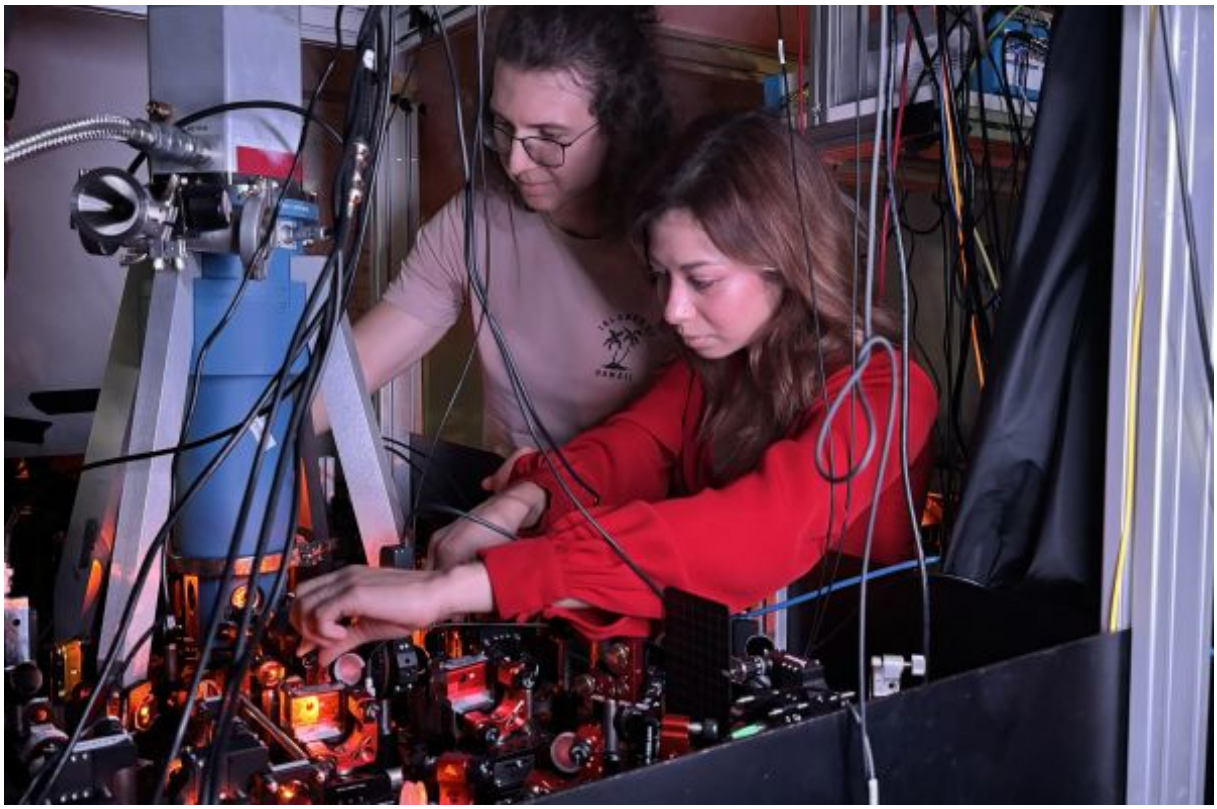


El conjunto de memorias cuanticas en serie del ICFO nos acerca a la RAM cuantica

Los investigadores del ICFO han desarrollado un conjunto de diez memorias cuanticas en serie que, pudiendose controlar individualmente, permiten almacenar multiples cubits (el analogo cuantico del bit) de manera simultanea y recuperarlos cuando sea necesario. Este logro constituye un gran paso hacia la realizacion de sistemas de memoria cuanticos que funcionen con la misma flexibilidad que las actuales memorias de acceso aleatorio (conocidas como RAM, por sus siglas en ingles).

Este sistema de estado solido, anunciado en Physical Review X, se basa en una configuracion previamente desarrollada por los mismos investigadores con 250 i¿½espacios vacantesi¿½ ara potencialmente almacenar un foton, lo cual constituye el re ord mundial actual para un dispositivo de estado solido con recuperacion bajo demanda. Su sistema nos acerca al equival nte cuantico de una memoria RAM y podria servir como un bl

que fundamental para generar estados entrelazados a gran escala (un recurso clave para la computacion cuantica) o aume tar drasticamente la eficiencia de la distribucion de entrelazamien o a largas distancias (una tarea fundamental para las futuras rede de comunicacion cuantica).

August 26, 2025

Internet, las redes sociales y las tecnologias digitales han transformado por completo la manera en que establecemos relaciones comerciales, personales y profesionales. En esencia, esta sociedad depende del intercambio de informacion que se expresa en terminos de bits. Esta unidad basica de informacion puede ser un 0 o un 1, y suele representarse en circuitos electricos, por ejemplo, como dos niveles de voltaje (uno que representa el bit en estado 0 y otro que representa el estado 1).

La capacidad de almacenar y manipular bits de manera eficiente constituye la base de la electronica digital y permite que los dispositivos modernos realicen una gran variedad de tareas, desde enviar correos electronicos y reproducir musica hasta realizar simulaciones numericas. Estos procesos son posibles gracias a componentes de hardware claves como la memorias de acceso aleatorio (RAM), que permiten almacenar datos por un tiempo recuperarlos bajo demanda

En paralelo, los avances en fisica cuantica han dado lugar a un nuevo tipo de unidad d informacion: el cubit. A diferencia de los bits clasicos, que son estrictamente 0 o 1, los cubit pueden existir en una superposicion de ambos estados al mismo tiempo. Esta peculiarida abre nuevas posibilidades para el procesamiento y almacenamiento de informacion, aunqu sus implicaciones practicas aun se estan explorando

Los futuros ordenadores cuanticos e internet cuantico requeriran, igual que los clasicos memorias cuanticas (en particular, memorias cuanticas de acceso aleatorio) para almacena y recuperar cubits. A pesar de que existen diversos enfoques para codificar cubits implementar memorias cuanticas, todavia ninguno de ellos se ha consolidado como l opcion estandar

Ahora, los investigadores del ICFO e**Dr. Markus Teller**, **Susana Plascencia**, **Cristina Sastre Jachimska** y el **Dr. Samuele Grandi**, bajo la direccion del **Prof. ICREA Hugues de Riedmatten**, han logrado un hito importante en el desarrollo de memorias cuanticas de estado solido, una de las plataformas mas prometedoras para el almacenamiento de informacion cuantica. En un articulo reciente en Physical Review X, emplean un conjunto de diez memorias en serie controlables individualmente para almacenar cubits en combinaciones arbitrarias de estas celdas de memoria y luego recuperarlos a voluntad. Estos resultados se basan en una publicacion anterior en npj Quantum Information, donde introdujeron por primera vez dicho conjunto.

Su trabajo se centra en dos codificaciones de cubits ampliamente utilizadas en tecnologias cuanticas fotonicas: la codificacion por trayectoria, donde el cubit se define por la memoria donde entre el foton, y la codificacion por intervalos temporales, donde el cubit se codifica segun el momento de llegada del foton (en un intervalo de tiempo anterior o posterior). Para este ultimo caso, el equipo implemento una caracteristica unica en su enfoque: la posibilidad de almacenar fotones en multiples intervalos de tiempo dentro de cada celda de memoria.

Diez celdas, un cristal: avances en comunicaciones y computacion cuantica

En el articulo de npj Quantum Information, el equipo creo la formacion de diez memorias cuanticas utilizando un cristal dopado con praseodimio y enfriado a 3 Kelvin dentro de un criostato. En ese cristal, asignaron 250 i¿½espaciosi¿½ de almacenamiento, o m dos espaciotemporales, cada uno con el potencial de almacenar un foton, logrando el re ord mundial actual para un dispositivo de estado solido **con recuperacion bajo demanda**. Este hito es realmente notable, ya que la capacidad de recuperacion bajo demanda es tecnicamente muy dificil de implementar y, sin embargo, es esencial a la hora de sincronizar redes cuanticas.

Posteriormente, el equipo empleo una configuracion similar (diez celdas de memoria controlables individualmente, pero con menos modos disponibles) para almacenar varios cubits y recuperarlos en el momento oportuno, lo que finalmente resulto en el articulo en PRX. Para lograrlo, deflectores acusto-opticos dirigieron pulsos laser al cristal, permitiendo escribir y leer cubits en combinaciones de celdas arbitrarias. El analisis posterior de los fotones recuperados mostro que el conjunto de memorias cuanticas en serie preservaba los estados cuanticos originales con una fidelidad muy razonable.

Para terminar de demostrar el potencial de su configuracion, el equipo almaceno dos cubits codificados en intervalos temporales y los recupero simultaneamente. **Estas capacidades nos acercan un paso mas a una memoria RAM cuantica de estado solido**, con aplicaciones en computacion y comunicacion cuantica. i¿½Prevemos que se podria combinar esta platafor a con una fuente de estados de cluster fotonicos para **la computacion cuantica basada en luz** i¿½, comparte el Dr. Markus Teller, primer co-autor del estudio. i¿½En este escenario el conjunto de memorias cuanticas en serie almacenaria cada vez mas fotones hasta qu se formase un gran estado cuantico entrelazado. Entonces podrian comenzar las operaci nes cuanticas

i¿½ El sistema tambien podria impulsar los **repetidores cuanticos**, la columna vertebral del futuro internet cuantico. Estos dispositivos buscan extender la comunicacion cuantica a grandes distancias distribuyendo el recurso cuantico del entrelazamiento a lo largo de segmentos sucesivos. i¿½Los experimentos anteriores con solidos tenian que detenerse despues e intentar establecer entrelazamiento solo unas decenas de veces, esperando a que regresa a una senal que anunciara el exito de la operacioni¿½, explica Susana Plascencia, investiga ora del ICFO y co-autora del estudio. i¿½Con nuestra propuesta, **ya no es necesario esperar la**

senal de exito (al menos, hasta cierta distancia). En su lugar, podemos cambiar a otra celd
de memoria y seguir intentandolo.i¿½ Llenar ese tiempo muerto con nuevos intentos pod
ia aumentar la tasa a la que el entrelazamiento (y, por lo tanto, la informacion cuantica)
se transfiere a largas distanci
s. Para aprovechar plenamente el potencial de las formaciones propuestas de memor
as cuanticas con multiplexacion temporal (como son tecnicamente llamadas), hace fa
ta mejorar el rendimiento (por ejemplo, en terminos de eficiencia y tiempo de almacenamient
), aumentar el numero de celdas de memoria y lograr almacenar entrelazamiento; desafios a
os que, proximamente, se deberan enfrentar los investigador
s. En conjunto, este estudio representa un paso significativo hacia el equivalente cuantico
de una memoria RAM, cuyas implicaciones en comunicaciones y computacion cuant
ca permanecen abiert

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



De izquierda a derecha, Hugues de Riedmatten, Samuele Grandi, Markus Teller, Susana Plascencia y Cristina Sastre Jachimska delante del edificio principal del ICFO. ©ICFO.