

Image not found

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 $i\frac{1}{2}$ espacios vacantes $i\frac{1}{2}$ ara potencialmente almacenar un foton, lo cual constituye el record mundial actual para un dispositivo de estado solido con recuperacion bajo demanda. Su sistema nos acerca al equivalente cuantico de una memoria RAM y podria servir como un bloque fundamental para generar estados entrelazados a gran escala (un recurso clave para la computacion cuantica) o aumentar drasticamente la eficiencia de la distribucion de entrelazamiento a largas distancias (una tarea fundamental para las futuras redes 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

numéricas. 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 física cuántica han dado lugar a un nuevo tipo de unidad de información: el qubit. A diferencia de los bits clásicos, que son estrictamente 0 o 1, los qubits pueden existir en una superposición de ambos estados al mismo tiempo. Esta peculiaridad abre nuevas posibilidades para el procesamiento y almacenamiento de información, aunque sus implicaciones prácticas aún se están explorando

Los futuros ordenadores cuánticos e internet cuántico requerirán, igual que los clásicos memorias cuánticas (en particular, memorias cuánticas de acceso aleatorio) para almacenar y recuperar qubits. A pesar de que existen diversos enfoques para codificar qubits implementar memorias cuánticas, todavía ninguno de ellos se ha consolidado como la opción estándar

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

Su trabajo se centra en dos codificaciones de qubits ampliamente utilizadas en tecnologías cuánticas fotónicas: la codificación por trayectoria, donde el qubit se define por la memoria donde entre el fotón, y la codificación por intervalos temporales, donde el qubit se codifica según el momento de llegada del fotón (en un intervalo de tiempo anterior o posterior). Para este último caso, el equipo implementó una característica única en su enfoque: la posibilidad de almacenar fotones en múltiples intervalos de tiempo dentro de cada celda de memoria.

Diez celdas, un cristal: avances en comunicaciones y computación cuántica

En el artículo de *npj Quantum Information*, el equipo creó la formación de diez memorias cuánticas utilizando un cristal dopado con praseodimio y enfriado a 3 Kelvin dentro de un criostato. En ese cristal, asignaron 250 *espacios* de almacenamiento, o más precisamente, dos espaciotemporales, cada uno con el potencial de almacenar un fotón, logrando el récord mundial actual para un dispositivo de estado sólido **con recuperación bajo demanda**. Este hito es realmente notable, ya que la capacidad de recuperación bajo demanda es técnicamente muy difícil de implementar y, sin embargo, es esencial a la hora de sincronizar redes cuánticas.

Posteriormente, el equipo empleó una configuración similar (diez celdas de memoria

controlables individualmente, pero con menos modos disponibles) para almacenar varios qubits y recuperarlos en el momento oportuno, lo que finalmente resultó en el artículo en PRX. Para lograrlo, deflectores acusto-ópticos dirigieron pulsos láser al cristal, permitiendo escribir y leer qubits en combinaciones de celdas arbitrarias. El análisis posterior de los fotones recuperados mostró que el conjunto de memorias cuánticas en serie preservaba los estados cuánticos originales con una fidelidad muy razonable.

Para terminar de demostrar el potencial de su configuración, el equipo almacenó dos qubits codificados en intervalos temporales y los recuperó simultáneamente. **Estas capacidades nos acercan un paso más a una memoria RAM cuántica de estado sólido**, con aplicaciones en computación y comunicación cuántica. ¿Podría combinarse esta plataforma con una fuente de estados de cluster fotónicos para la **computación cuántica basada en luz**? comparte el Dr. Markus Teller, primer co-autor del estudio. ¿En este escenario el conjunto de memorias cuánticas en serie almacenaría cada vez más fotones hasta que se formase un gran estado cuántico entrelazado. Entonces podrían comenzar las operaciones cuánticas

¿El sistema también podría impulsar **repetidores cuánticos**, la columna vertebral del futuro internet cuántico. Estos dispositivos buscan extender la comunicación cuántica a grandes distancias distribuyendo el recurso cuántico del entrelazamiento a lo largo de segmentos sucesivos. ¿Los experimentos anteriores con sólidos tenían que detenerse después e intentar establecer entrelazamiento solo unas decenas de veces, esperando a que regresara una señal que anunciara el éxito de la operación? ¿explica Susana Plascencia, investigadora del ICFO y co-autora del estudio. ¿Con nuestra propuesta **ya no es necesario esperar la señal de éxito** (al menos, hasta cierta distancia). En su lugar, podemos cambiar a otra celda de memoria y seguir intentándolo. ¿Llenar ese tiempo muerto con nuevos intentos podría aumentar la tasa a la que el entrelazamiento (y, por lo tanto, la información cuántica) se transfiere a largas distancias

s. Para aprovechar plenamente el potencial de las formaciones propuestas de memorias cuánticas con multiplexación temporal (como son técnicamente llamadas), hace falta mejorar el rendimiento (por ejemplo, en términos de eficiencia y tiempo de almacenamiento), aumentar el número de celdas de memoria y lograr almacenar entrelazamiento; desafíos a los que, próximamente, se deberán enfrentar los investigadores

s. En conjunto, este estudio representa un paso significativo hacia el equivalente cuántico de una memoria RAM, cuyas implicaciones en comunicaciones y computación cuántica permanecen abiertas

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 Skłodowska-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 Gestió 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 Cuánticas); Agencia Estatal de Investigación (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 Skłodowska-Curie grant agreement No 101103143 *i* $\frac{1}{2}$ Two-dimensionally multiplexed on-demand quantum memories *i* $\frac{1}{2}$ (2DMultiMems). S.G. acknowledges funding from *i* $\frac{1}{2}$ la Caixa *i* $\frac{1}{2}$ 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>

Image not found

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