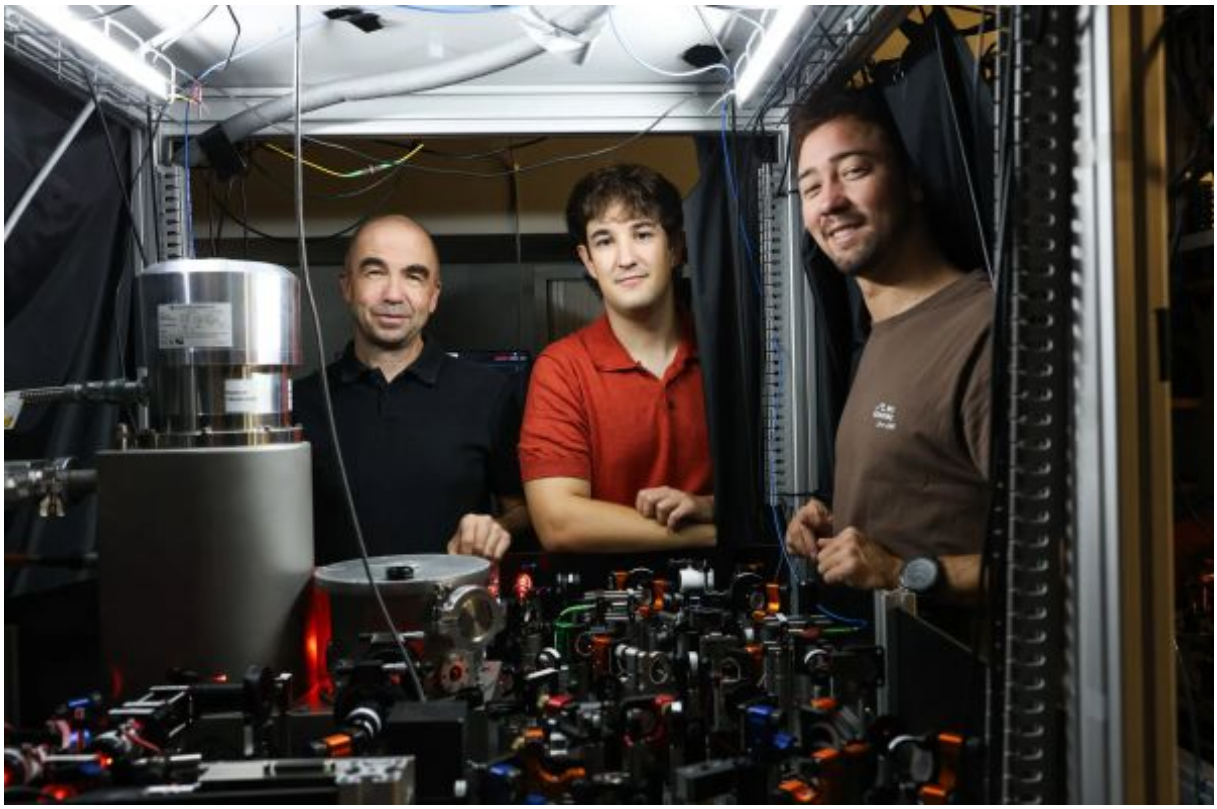


# Una memoria cuantica de reenfase de espin para fotones individuales

## Investigadores del ICFO han aplicado un mecanismo de reenfase de espin para almacenar luz cuantica en una memoria cuantica de estado solido. El equipo ha logrado almacenar fotones individuales por el mayor tiempo registrado hasta la fecha en este tipo de memoria, dando asi un paso importante hacia la internet cuantica. El estudio se ha publicado hoy en Physical Review Letters.

September 23, 2026

Constantemente enviamos informacion entre nosotros, transmitiendo ceros y unos a traves de una enorme red de ordenadores y dispositivos conectados. Actualmente, los cientificos intentan extender este concepto tan familiar del internet al ambito cuantico, buscando una forma eficiente de intercambiar informacion cuantica en vez de clasica, cubits en lugar de bits. La motivacion detras de esta busqueda no es solo curiosidad cientifica. Los cubits abren nuevas posibilidades para procesar informacion, ya que pueden ser un 0, un 1, o cualquier superposicion de ambos. Ademas, pueden entrelazarse, mostrando un grado de correlacion

que resulta simplemente inalcanzable para los bits clasicos.
Un elemento clave para hacer posible la internet cuantica es el repetidor cuantico, una arquitectura disenada para distribuir entrelazamiento a largas distancias que, a su vez, requiere de memorias cuanticas para funcionar. Estas deben ser capaces de conservar un estado cuantico durante un periodo de tiempo suficientemente largo como para sincronizar medidas entre distintos segmentos de la red y, asi, establecer con exito el entrelazamiento.
Los investigadores del ICFO **Alberto Rodriguez Moldes**, el **Dr. Felicien Appas**, **Jonathan Hanni** , la **Dra. Jelena Rakonjac**, y el **Dr. Samuele Grandi**, dirigidos por el **Prof. ICREA Hugues de Riedmatten**, han dado ahora un paso importante en esta direccion. Implementando el llamado **protocolo de reenfase de espin**, han demostrado que las **memorias cuanticas de estado solido** -candidatas prometedoras para construir redes cuanticas gracias a su ya demostrada alta eficiencia, su capacidad para almacenar entrelazamiento y sus propiedades de multiplexado- **pueden almacenar fotones individuales durante mas tiempo del que se habia conseguido** hasta ahora. Estos resultados, publicados en Physical Review Letters y obtenidos en el marco de la Quantum Internet Alliance (QIA), nos acercan un poco mas a la internet cuantica.

**El desfase, el principal obstaculo al almacenar fotones**
En el experimento presentado, el equipo genero primero un par de fotones entrelazados. Uno tenia una longitud de onda de telecomunicaciones, compatible con la fibra optica para su distribucion a larga distancia; el otro era compatible con la memoria cuantica, un cristal dopado con iones de praseodimio enfriado a 3 kelvin en un criostato. Alli tuvo lugar el conocido protocolo de Peine de Frecuencias Atomicas (AFC, por sus siglas en ingles).
En el protocolo AFC, los atomos del cristal absorben colectivamente el foton entrante de modo que uno de ellos se excita a un nivel de energia superior, creando una excitacion atomica deslocalizada entre todos los atomos. Antes de que puedan reemitir el foton de forma natural, se envia un pulso optico de control para transferir la excitacion colectiva al estado de espin, un nivel que no emite luz, con lo que se detiene la emision y se almacena el foton. Mas tarde, un segundo pulso de control devuelve el conjunto al estado excitado, provocando la emision de un foton que transporta la misma informacion que el original.
El problema es que, en la practica, la excitacion colectiva no puede permanecer indefinidamente en el estado de espin. Como el entorno cristalino es ligeramente distinto para cada ion, la superposicion inicial se desfasa y pierde coherencia. Si el tiempo de almacenamiento es demasiado largo, las propiedades cuanticas del foton emitido se degradan y la informacion se pierde por el camino.

**Protocolo de reenfase de espin para almacenar fotones individuales con correlaciones cuanticas**
Aqui es donde entra en juego el reenfase de espin, un mecanismo que contrarresta estos

efectos de decoherencia. Consiste en enviar una serie de pulsos de radiofrecuencia que invierten la fase que cada ion ha acumulado tras un determinado tiempo. Despues, basta con esperar el mismo periodo para que la nueva fase acumulada compense la que se invirtio, restaurando asi la excitacion colectiva de espin.
El equipo envio, por tanto, multiples pulsos de radiofrecuencia para controlar con precision cuando esta secuencia de "inversion" y "espera" reenfasaria realmente la excitacion colectiva. Llegado ese punto, enviaron el segundo pulso de control y realizaron la lectura de la memoria cuantica. Los investigadores del ICFO consiguieron asi almacenar fotones individuales durante hasta **180 microsegundos (el periodo mas largo registrado para este tipo de memoria)**, lo que equivale a una distancia de fibra de **mas de 30 km**. "En el futuro, se podran conseguir tiempos de almacenamiento aun mayores aplicando pequenos campos magneticos a la memoria cuantica", explica Alberto Rodriguez Moldes, primer autor del articulo.
Cabe destacar que los investigadores realizaron el experimento utilizando **luz cuantica**, y demostraron la **presencia de correlaciones cuanticas entre la memoria cuantica de reenfase de espin y el foton de telecomunicaciones**. "El reenfase de espin ya se habia demostrado en el pasado con luz de entrada clasica, pero nuestros resultados muestran que puede extenderse a la cuantica", explica el profesor ICREA Hugues de Riedmatten, investigador principal del estudio. "**Nuestro esquema establece asi las memorias cuanticas dopadas con praseodimio como una de las principales candidatas para implementar y escalar las redes cuanticas.**"

**Referencia:**
Rodriguez-Moldes, A. E., et. al., Long-lived telecom-heralded single-photon storage in an absorptive spin-rephased quantum memory, Phys. Rev. Lett. (2026)
DOI: https://doi.org/10.1103/ftkb-pkvp

**Agradecimientos:**
This project received funding from: Gordon and Betty Moore Foundation (GBMF7446 to H. d. R); Agencia de Gestio d'Ajuts Universitaris i de Recerca; Centres de Recerca de Catalunya; Fundacio Privada MIRPUIG; Fundacion Cellex; Ministerio de Ciencia e Innovacion with funding from European Union NextGeneration funds (MCIN/AEI/10.13039/501100011033, PRTRC17.I1); Agencia Estatal de Investigacion (PID2023-147538OB-I00, Severo Ochoa CEX2024-001490-S); European Union research and innovation program within the Flagship on Quantum Technologies through Horizon Europe project QIA-Phase 1 under grant agreement no. 101102140 and from the Secretariat of Digital Policies of the Government of Catalonia - G.A. GOV/51/2022. F.A. acknowledge funding from the European Union's Horizon 2022 research and innovation program under the Marie Sklodowska-Curie grant agreements

No 101104148 (IQARO). S.G. acknowledges funding from i¿½la Caixai¿½ Foundation (ID 100010434; fellowship code LCF/BQ/PR23/11980044). J.H. acknowledges funding from the i¿½Secretaria d'Universitats i Recerca del Departament de Recerca i Universitats de la Generalitat de Catalunyai¿½ under grant.

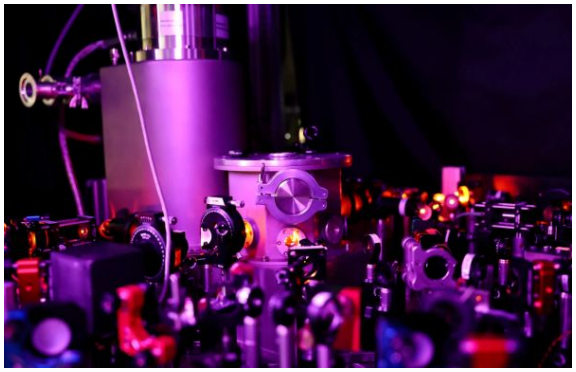
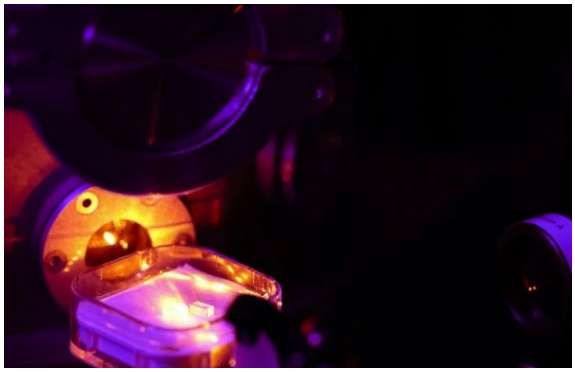


Imagen del montaje experimental. Credito: ICFO.



Primer plano de las memorias cuanticas. Credito: ICFO.