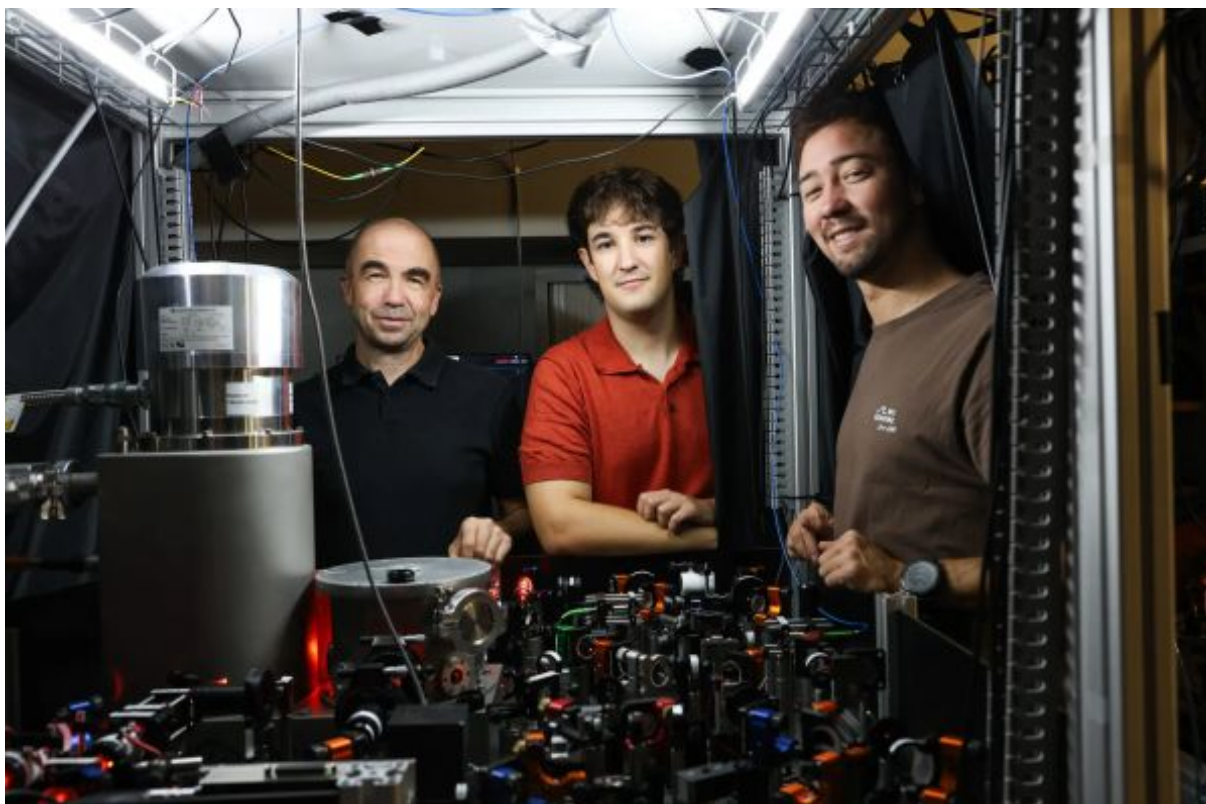




Una memoria quantica de reenfasament d'espi per a fotons individuals

Investigadors de l'ICFO han aplicat un mecanisme de reenfasament d'espi per emmagatzemar llum quantica en una memoria quantica d'estat solid. L'equip ha aconseguit emmagatzemar fotons individuals durant el periode de temps mes llarg registrat fins ara fent servir aquest tipus de memoria, la qual cosa ens apropa a la internet quantica. L'estudi s'ha publicat avui a *Physical Review Letters*.

September 23, 2026

Constantment ens enviem informacio entre nosaltres, transmetent zeros i uns a traves d'una xarxa enorme d'ordinadors i dispositius connectats. Actualment, els científics intenten estendre aquest concepte tan familiar de l'internet a l'ambit quantic, tot buscant una manera eficient d'intercanviar informacio quantica en lloc de classica, [qbits](#) en comptes de bits. La motivacio darrere d'aquesta recerca no es nomes la curiositat cientifica. Els qbits obren

noves possibilitats a l'hora de processar informació, ja que poden ser un 0, un 1, o qualsevol superposició d'ambdós. A més, poden [entrellacar-se](#), mostrant un grau de correlació que simplement és inaccessible per als bits clàssics.

Un element clau per fer possible la internet quàntica és el [repetidor quàntic](#), una arquitectura dissenyada per distribuir entrellacament a llargues distàncies que, alhora, requereix memòries quàntiques per funcionar. Aquestes han de ser capaces de conservar un estat quàntic durant un període de temps prou llarg per sincronitzar mesures entre diferents segments de la xarxa i, així, establir amb èxit l'entrellacament.

Els investigadors de l'ICFO **Alberto Rodríguez Moldes**, el **Dr. Felicien Appas**, en **Jonathan Hannoni**, la **Dra. Jelena Rakonjac**, i el **Dr. Samuele Grandi**, dirigits pel **Prof. ICREA Hugues de Riedmatten**, han fet ara un pas important en aquesta direcció. Implementant l'anomenat **protocol de reenfasament d'espi**, han demostrat que **les memòries quàntiques d'estat sòlid** -candidates prometedores per construir xarxes quàntiques gràcies a la seva alta eficiència, la seva capacitat per emmagatzemar entrellacament i les seves propietats de multiplexació- **poden emmagatzemar fotons individuals durant més temps del que s'havia aconseguit fins ara**. Aquests resultats, publicats a Physical Review Letters i obtinguts en el marc de la [Quantum Internet Alliance \(QIA\)](#), ens apropen una mica més a la internet quàntica.

El desfasament, el principal obstacle a l'hora d'emmagatzemar fotons

En l'experiment presentat, l'equip va generar primer un parell de fotons entrellacats. Un tenia una longitud d'ona de telecomunicacions, compatible amb la fibra òptica per a la seva distribució a llarga distància; l'altre era compatible amb la memòria quàntica, un cristall dopat amb ions de praseodimi i refredat a 3 kelvins en un criostat. Allà es va implementar el conegut protocol de Pinta de Freqüències Atòmiques (AFC, per les seves sigles en anglès)

En el protocol AFC, els àtoms del cristall absorbeixen col·lectivament el foto entrant de manera que un d'ells s'excita a un nivell d'energia superior, creant així una excitació atòmica deslocalitzada entre tots els àtoms. Abans que puguin reemetre el foto de forma natural, s'envia un pols òptic de control per transferir l'excitació col·lectiva a l'estat d'espi, un nivell que no emet llum, amb la qual cosa s'atura l'emissió i s'emmagatzema el foto. Més tard, un segon pols de control retorna el conjunt a l'estat excitat, provocant l'emissió d'un foto que transporta la mateixa informació que l'origen

I. El problema és que, a la pràctica, l'excitació col·lectiva no pot romandre indefinidament en l'estat d'espi. Com que l'entorn cristal·lí és lleugerament diferent per a cada i, la superposició inicial es desfasa i perd coherència. Si el temps d'emmagatzematge és massa llarg, les propietats quàntiques del foto emès es degraden i la informació es perd pel

El protocol de reenfasament d'espi per emmagatzemar fotons individuals amb correlacions quàntiques

Aquí es on entra en joc el reenfasament d'espi, un mecanisme que contraresta aquests

efectes de decoherencia. Consisteix a enviar una serie de polsos de radiofreqüència que inverteixen la fase que cada io ha acumulat després d'un temps determinat. A continuació només cal esperar el mateix període per tal que la nova fase acumulada compensi la que es va invertir, restaurant així l'excitació col·lectiva d'espins.

L'equip va enviar, per tant, múltiples polsos de radiofreqüència per controlar amb precisió quan aquesta seqüència d'"inversió" i "espera" reenfalaria realment l'excitació col·lectiva. Arribats a aquest punt, van enviar el segon pols de control i van dur a terme la lectura i la memòria quàntica. Els investigadors de l'ICFO van aconseguir així emmagatzemar fotons individuals durant **120 microsegons (el període més llarg registrat per a aquest tipus de memòria)**, la qual cosa equival a una distància de fibra de **més de 30 km**. "En el futur, es podran aconseguir temps d'emmagatzematge encara més llargs aplicant petits camps magnètics a la memòria quàntica", diu l'Alberto Rodríguez Moldes, primer autor de l'article. Cal destacar que els investigadors van dur a terme l'experiment utilitzant llum quàntica, i van demostrar la **presència de correlacions quàntiques entre la memòria quàntica de reenfament d'espins i el foto de telecomunicacions**. "El reenfament d'espins ja s'havia demostrat en el passat amb llum d'entrada clàssica, però els nostres resultats mostren que es pot estendre a la quàntica", explica el professor ICREA Hugues de Riedmatten, investigador principal de l'estudi. **"El nostre esquema, doncs, fa de les memòries quàntiques dopades amb praseodimi una de les principals candidates per implementar i escalar les futures xarxes quàntiques."**

Referència:

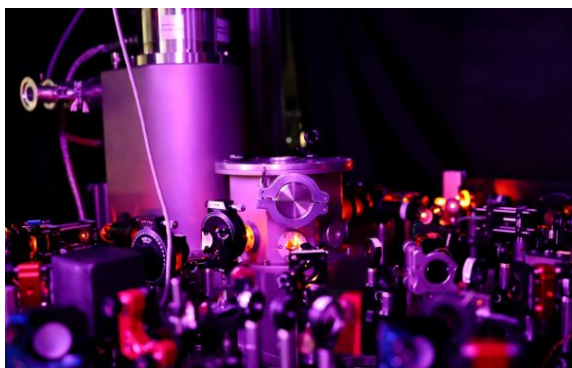
Rodríguez-Moldes, A. E., et. al., Long-lived telecom-heralded single-photon storage in an absorptive spin-rephased quantum memory, Phys. Rev. Lett. (2026)

DOI: <https://doi.org/10.1103/ftkb-pkvp>

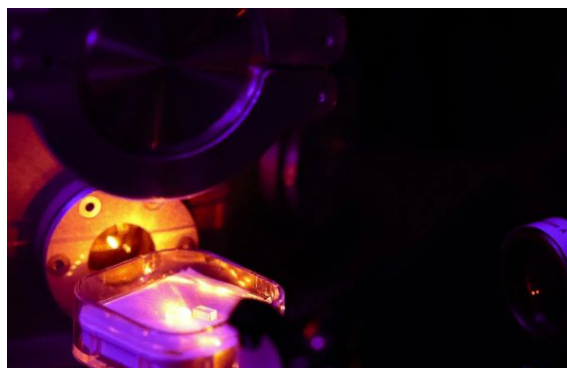
Agraïments:

This project received funding from: Gordon and Betty Moore Foundation (GBMF7446 to H. d. R); Agència de Gestió d'Ajuts Universitaris i de Recerca; Centres de Recerca de Catalunya; Fundació Privada MIRPUIG; Fundació Cellex; Ministerio de Ciencia e Innovación with funding from European Union NextGeneration funds (MCIN/AEI/10.13039/501100011033, PRTRC17.I1); Agència Estatal de Investigació (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 Skłodowska-Curie grant agreements No 101104148 (IQARO). S.G. acknowledges funding from i²la Caixa i² Foundation

(ID 100010434; fellowship code LCF/BQ/PR23/11980044). J.H. acknowledges funding from the $\frac{1}{2}$ Secretaria d'Universitats i Recerca del Departament de Recerca i Universitats de la Generalitat de Catalunya $\frac{1}{2}$ under grant.



Imatge del muntatge experimental. Credit: ICFO.



Primer pla de les memories quantiques. Credit: ICFO.