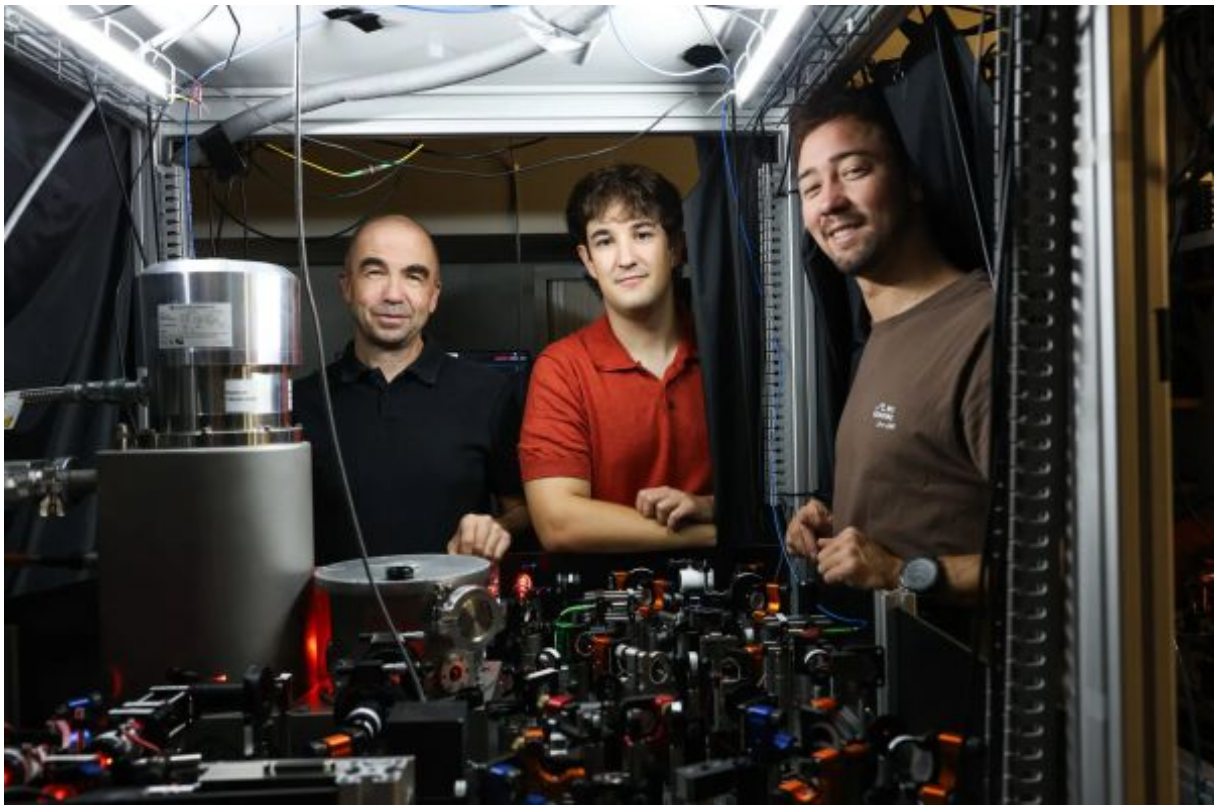


Una memoria quantica de reenfasament d'espi per a fotons individuals

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 cientifics 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 informacio, ja que poden ser un 0, un 1, o qualsevol superposicio d'ambdos. A mes, poden entrellacar-se, mostrant un grau de correlacio que simplement es inaccessible per als bits classics.
Un element clau per fer possible la internet quantica es el repetidor quantic, una arquitectura dissenyada per distribuir entrellacament a llargues distancies que, alhora, requereix memories quantiques per funcionar. Aquestes han de ser capaces de conservar un estat quantic durant un periode de temps prou llarg per sincronitzar mesures entre diferents segments de la xarxa i, aixi, establir amb exit l'entrellacament.
Els investigadors de l'ICFO **Alberto Rodriguez Moldes**, el **Dr. Felicien Appas**, en **Jonathan Ha nni**, la **Dra. Jelena Rakonjac**, i el **Dr. Samuele Grandi**, dirigits pel **Prof. ICREA Hugues de Riedmatten**, han fet ara un pas important en aquesta direccio. Implementant l'anomenat **protocol de reenfasament d'espi**, han demostrat que **les memories quantiques d'estat solid** -candidates prometedores per construir xarxes quantiques gracies a la seva alta eficiencia, la seva capacitat per emmagatzemar entrellacament i les seves propietats de multiplexacio- **poden emmagatzemar fotons individuals durant mes 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 mes a la internet quantica.

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 optica per a la seva distribucio a llarga distancia; l'altre era compatible amb la memoria quantica, un cristall dopat amb ions de praseodimi i refredat a 3 kelvins en un criostat. Alla es va implementar el conegut protocol de Pinta de Freqüencies Atomiques (AFC, per les seves sigles en angles)
En el protocol AFC, els atoms del cristall absorbeixen col·lectivament el foto entrant e manera que un d'ells s'excita a un nivell d'energia superior, creant aixi una excitacio atomi a deslocalitzada entre tots els atoms. Abans que puguin reemetre el foto de forma natura , s'envia un pols optic de control per transferir l'excitacio col·lectiva a l'estat d'espi, un niv ll que no emet llum, amb la qual cosa s'atura l'emissio i s'emmagatzema el foto. Mes tard, un segon pols de control retorna el conjunt a l'estat excitat, provocant l'emissio d'un foto ue transporta la mateixa informacio que l'origin
l. El problema es que, a la practica, l'excitacio col·lectiva no pot romandre indefinidamen en l'estat d'espi. Com que l'entorn cristal·li es lleugerament diferent per a cada i , la superposicio inicial es desfasa i perd coherencia. Si el temps d'emmagatzematge es assa llarg, les propietats quantiques del foto emes es degraden i la informacio es perd pel

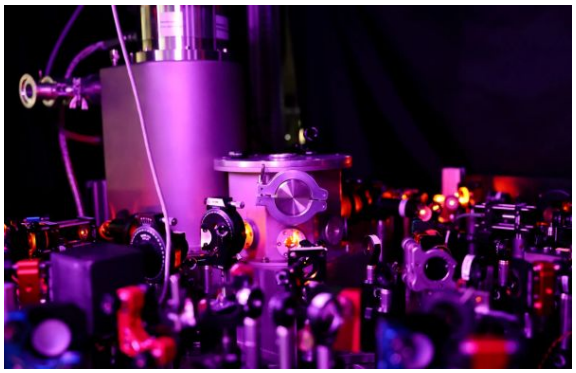
El protocol de reenfasament d'espi per emmagatzemar fotons individuals amb correlacions quantiques
Aqui es on entra en joc el reenfasament d'espi, un mecanisme que contraresta aquests

efectes de decoherencia. Consisteix a enviar una serie de polsos de radiofreqüencia qu inverteixen la fase que cada io ha acumulat despres d'un temps determinat. A continuacio nomes cal esperar el mateix periode per tal que la nova fase acumulada compensi la que e va invertir, restaurant aixi l'excitacio col·lectiva d'esp
. L'equip va enviar, per tant, multiples polsos de radiofreqüencia per controlar amb preci io quan aquesta seqüencia d'"inversio" i "espera" reenfasaria realment l'excitacio col·lec iva. Arribats a aquest punt, van enviar el segon pols de control i van dur a terme la lectura e la memoria quantica. Els investigadors de l'ICFO van aconseguir aixi emmagatzemar f tons individuals durant **180 microsegons (el periode mes llarg registrat per a aquest tipus de memoria)**, la qual cosa equival a una distancia de fibra de **mes de 30 km**. "En el futur, es podran aconseguir temps d'emmagatzematge encara mes llargs aplicant petits camps magnetics a la memoria quantica", diu l'Alberto Rodriguez Moldes, primer autor de l'article. Cal destacar que els investigadors van dur a terme l'experiment utilitzant llum quantica, i van demostrar la **presencia de correlacions quantiques entre la memoria quantica de reenfasament d'espi i el foto de telecomunicacions**. "El reenfasament d'espi ja s'havia demostrat en el passat amb llum d'entrada classica, pero els nostres resultats mostren que es pot estendre a la quantica", explica el professor ICREA Hugues de Riedmatten, investigador principal de l'estudi. "**El nostre esquema, doncs, fa de les memories quantiques dopades amb praseodimi una de les principals candidates per implementar i escalar les futures xarxes quantiques.**"

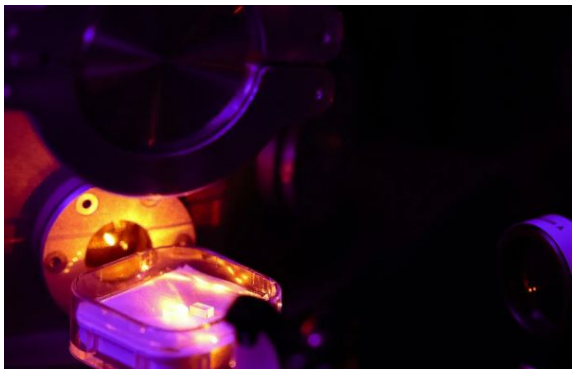
Referencia:
Rodriguez-Moldes, A. E., et. al., Long-lived telecom-heralded single-photon storage in an absorptive spin-rephased quantum memory, Phys. Rev. Lett. (2026)
DOI: https://doi.org/10.1103/ftkb-pkvp

Agraiments:
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.



Imatge del montatge experimental. Credit: ICFO.



Primer pla de les memories quantiques. Credit: ICFO.