



Interconnectant memories quantiques per a la internet quantica

L'entrellacament quantic no es només una de les característiques més fascinants de la mecànica quànica, sinó també la pedra angular de moltes aplicacions amb un gran potencial de futur, com ara la possibilitat d'interconnectar ordinadors o sensors quàntics distants, o garantir comunicacions ultra-segures. Investigadors de l'ICFO han assolit recentment una fita cap a la distribució de l'entrellacament a llargues distàncies, cosa que podria esdevenir un dels blocs fonamentals d'una internet quàntica a escala mundial. Els resultats es presenten a *Physical Review X*.

October 07, 2025

L'entrellacament es transmet mitjançant partícules individuals de llum, o fotons, que viatgen a través de canals òptics com les fibres òptiques, els quals estan subjectes a pèrdues inevitables. Per mitigar-ho, fa unes quantes dècades es van proposar anàlegs quàntics dels repetidors clàssics, que són omnipresents a les telecomunicacions òptiques actuals. En

particular, els repetidors quantics busquen estendre la comunicació quàntica a grans distàncies. Per aconseguir-ho, distribueixen el recurs quàntic de l'entrellacament a través de petits segments successius, on les pèrdues són menors, i a cada segment aquest entrellacament s'emmagatzema en uns dispositius anomenats memòries quàntiques. Investigadors de l'ICFO, en **Jonathan Hanni**, l'**Alberto Rodríguez-Moldes**, el **Dr. Felicien Appas**, el **Dr. Soeren Wengerowsky**, el **Dr. Dario Lago-Rivera**, el **Dr. Markus Teller**, el **Dr. Samuele Grandi**, dirigits pel **Prof. ICREA Hugues de Riedmatten**, han implementat ara un **enllac d'entrellacament entre dos memòries quàntiques d'estat sòlid amb recuperació sota demanda com a prova de concepte**, un element fonamental per a la realització de **repetidors quàntics**.

L'entrellacament es crea utilitzant fonts de parells de fotons a cada node, emmagatzemant un fotó a les memòries quàntiques mentre que l'altre fotó (amb una longitud d'ona de telecomunicacions) s'envia a una estació central on es detecta d'una manera especial, la qual esborra la informació sobre el seu origen. Aquesta detecció anuncia la presència d'entrellacament a les memòries quàntiques, el qual s'emmagatzema i es recupera sota demanda, podent-se ajustar el moment de recuperació a conveniència.

Aquesta capacitat d'emmagatzemar i recuperar l'entrellacament a petició és una característica crucial per a la sincronització temporal de les diferents seccions d'un repetidor quàntic, i representa un dels principals assoliments de l'estudi, que ha estat publicat recentment a *Physical Review X*. El tipus de memòries utilitzat pels investigadors (un cristall dopat amb terres rares) permet la distribució de l'entrellacament de manera multiplexada en el temps, cosa que significa que es poden emprar múltiples espais i temps dins de la mateixa memòria quàntica per intentar generar entrellacament. Això, al seu torn, incrementa la taxa de distribució d'entrellacament, tal com es va demostrar a l'estudi. Amb el rendiment actual del sistema, ja es podria implementar un enllac quàntic de diversos quilòmetres. Els investigadors esperen que futures millores permetin estendre aquesta distància a diverses desenes de quilòmetres, cosa que eventualment possibilitaria la connexió de ciutats distants. Segons el Dr. Felicien Appas, un dels primers coautors de l'estudi: "Aquests resultats estableixen la nostra arquitectura com un candidat principal per a la implementació de la futura internet quàntica, un esdeveniment al qual espere, amb gran entusiasme, poder contribuir".

Referència:

Hanni, A. E. Rodríguez-Moldes, F. Appas, S. Wengerowsky, D. Lago-Rivera, M. Teller, S. Grandi, H. de Riedmatten, Heralded entanglement of on-demand spin-wave solid-state quantum memories for multiplexed quantum network links, *PRX* **15**, 041003 (2025).

DOI: <https://doi.org/10.1103/wv1-6lg8>

Acknowledgements:

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 MIR-PUIG; Fundacion Cellex; 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 (PID2023-147538OB-I00, Severo Ochoa CEX2019-000910-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. and M.T. acknowledge funding from the European Union's Horizon 2022 research and innovation programme under the Marie Skłodowska-Curie Grant Agreements No. 101104148 (IQARO) and No. 101103143 (2DMultiMems), respectively. S.G. acknowledges funding from *la Caixa* Foundation (ID 100010434; fellowship code No. LCF/BQ/PR23/11980044). J.H. acknowledges funding from the *Secretaria d'Universitats i Recerca del Departament de Recerca i Universitats de la Generalitat de Catalunya* under Grant No. 2024 FI-2 00059, as well as the European Social Fund Plus.