

Entrellacament de memories quantiques per a repetidors quantics: mes a prop de l?Internet Quantic

Investigadors de l'ICFO aconsegueixen per primera vegada, en un estudi publicat a la revista Nature, l'entrellacament de dues memories quantiques multimode, col·locades a dos laboratori diferents separades per 10 metres, i assenyalat per un foto a l longitud d'ona de les telecomunicacions.

Els cientifics han implementat una tecnica que els permet arribar a una taxa d'entrellacament record. El sistema podria integrar-se a la xarxa de comunicacio tradicional per fibra optica, aplanant aixi el cami per operar a llargues distancies.

Els resultats es consideren una fita per a les comunicacions quantiques i un gran pas endavant cap al desenvolupament de repetidors quantics, imprescindibles per al futur Internet quantic.

June 02, 2021

Durant la decada dels noranta es van aconseguir avencos importants en el camp de les telecomunicacions. Estenent la xarxa a distancies mes enlla de les ciutats i arees metropolitanes, es va marcar un abans i un despres en la comunicacio global. Per a poder escalar el sistema es van fer servir repetidors, que milloraven els senyals atenuats i permetien que viatgessin a distancies mes llargues, amb les mateixes caracteristiques d'intensitat i fidelitat. Amb la integracio de satel·lits al sistema s'ha aconseguit normalitzar el fet d'esta perdut a les muntanyes d'Europa i poder parlar amb amics vivint a l'altra punta del mon

En el cami cap a construir el futur Internet quantic, les memories quantiques exerceixe aquest mateix paper. Juntament amb les fonts generadores de qubits, son els component basics dels sistemes de comunicacio quantica. Actuen com a repetidors d'operacions d dades, utilitzant la superposicio i l'entrellacament com a ingredients claus. Pero, per tal d poder operar un sistema com l'Internet quantic, primer cal entrellacar aquestes memories llarga distancia i mantenir aquest entrellacament de la manera mes eficient possible

Tot en un

La revista Nature publica un estudi en el qual els cientifics de l'ICFO Dario Lago, Samuele Grandi, Alessandro Seri i Jelena Rakonjac, dirigits pel professor ICREA a l'ICFO Hugues de Riedmatten, han aconseguit per primera vegada un entrellacament materia-materia entre dues memories quantiques. Aquest entrellacament s'ha aconseguit entre memories d'estat solid, amb propietats multimodals, remotes - col·locades a certa distancia -, i operant en l longitud d'ona de les telecomunicacions, sent per tant una tecnologia potencialmen escalable. Dit de manera mes simple; han aconseguit emmagatzemar, durant un maxim de 2 microsegons, un unic foto entre dues memories quantiques separades entre si per 10 m d distancia.?

L'equip sabia que el foto estava en una de les dues memories, pero no sabien en quina. A xo emfatitza la nocio classica i anti intuitiva que tenim de la natura; el foto estava en un estat de superposicio quantic en les dues memories alhora, que sorprenentment, es troba en separades per 10 metres de distancia. En detectar-se un foto a la longitud d'ona de es telecomunicacions, els investigadors veien un clic a un monitor, indicant que s'havia c

eat entrellacament. L'emmagatzematge a les memories quantiques es va produir de ma
era multiplex, una tecnica que permet enviar diversos missatges simultaniament per un sol c
nal de comunicacio. Aquestes dues caracteristiques - aconseguir entrellacament en la long
tud d'ona de les telecomunicacions i de forma multiplex - son clau per poder escalar o este
dre el sistema a grans distancies. Aquesta es la primera vegada que s'han aconseguit jun
es. Com assenyala amb entusiasme Dario Lago, estudiant de doctorat a l'ICFO i primer auto
 de l'estudi: "Fins ara, altres grups ja havien aconseguit algunes de les fites aconseguide
 en aquest experiment, com entrellacar memories quantiques o emmagatzemar-hi fotons
amb una eficiencia i taxa d'entrellacament elevades. Pero la singularitat d'aquest experimen
 es que les nostres tecniques ho han aconseguit de manera conjunta i eficient, i que el sis
ema podria arribar a estendre's a grans distanci

Configurant l'experiment

Aconseguir aquest objectiu ha necessitat d'esforc i de temps. L'equip va preparar l'experiment durant el transcurs de diversos mesos, utilitzant com a memories quantiques uns cristalls dopats amb praseodimi, un element quimic del grup de les terres rares[1]. Tambe es van utilitzar dues fonts generadores de parells de fotons, correlacionats i individuals. A cada parell de fotons, n'hi havia un anomenat "**missatger**", amb una longitud dins de la franja de les telecomunicacions de 1436 nm; i l'altre, anomenat "**senyal**", amb una longitud d'ona de 606 nm. **Els fotons senyal es van enviar a una memoria quantica**, formada per milions d'atoms col·locats aleatoriament dins d'un vidre, i es van emmagatzemar-hi traves d'un protocol anomenat AFC - per les sigles en angles de pinta de freqüencia atomic
. Al seu torn, els **fotons missatgers es van enviar a traves d'una fibra optica a un dispositiu anomenat divisor de feix**, on es va esborrar del tot la informacio sobre el seu origen i trajectoria. Samuele Grandi, investigador postdoctoral i coautor de l'estudi, comenta: i¿½V
m esborrar qualsevol tipus de caracteristica que ens digues d'on procedien els foto
s missatgers, perque no voliem tenir cap informacio sobre el foto senyal ni intuir en qui
a memoria quantica s'estava emmagatzemanti¿½. En esborrar aquestes caracteristiques, el
oto senyal podria emmagatzemar-se en qualsevol de les memories quantiques, el que signifi
ava que hi havia entrellacament entre el
es. Per confirmar i verificar que, de fet, s'havia aconseguit un entrellacament, els cientifics v
ien en el monitor un clic cada vegada que un foto missatger arribava al detector.
quest entrellacament era el foto senyal en estat de superposicio entre les dues
emories quantiques, emmagatzemant com una excitacio compartida per desenes de milions
d'atoms durant un maxim de 25 micr
segons. Com mencionen el Dario i el Sam, i¿½El mes curios de l'experiment es que no er
 possible saber si el foto estava emmagatzemat a la memoria quantica de laboratori 1 o de lab
ratori 2, que estaven a mes de 10 metres de distancia. Tot i que aquesta es la caracteristica
principal del nostre experiment, i per tant des del principi esperavem que passes alguna

cosa, els resultats al laboratori van confirmar-se contraris a la intuicio. I encara mes eculiar i al·lucinant per a nosaltres, vam ser capacos de cont

La importancia dels fotons missatgers

La majoria dels estudis previs ja havien experimentat amb l'entrellacament i les memories quantiques utilitzant fotons missatgers, per saber si es produia amb exit entrellacament entre elles o no. Un foto missatger es com un colom missatger; quan arriba, els cientifics poden saber que s'ha establert l'entrellacament entre les memories quantiques. Aleshores, el intents d'entrellacament s'aturen i aquest entrellacament s'emmagatzema en les memorie abans de ser analitzat

En aquest experiment es fa servir un foto missatger en la freqüencia de l s telecomunicacions. Aixo vol dir que l'entrellacament que es produeix podria establir- e d'igual manera amb un foto compatible amb les xarxes de telecomunicacions existent . Aquest fet representa una gesta considerable, ja que permetria crear entrellacaments a llargues distancies, i que aquestes tecnologies quantiques s'integressin facilment a les xarx s i infraestructures classiques de telecomunicacions ja existent

La multiplexacio es clau

La multiplexacio es la capacitat que te un sistema d'enviar diversos missatges simultaniament a traves d'un sol canal de transmissio. En les telecomunicacions classiques, es una eina que s'utilitza amb freqüencia per transmetre dades a traves d'Internet, pero als repetidor quantics, aquesta tecnica es una mica mes complexa. Amb les memories quantique estandards, un ha d'esperar que el missatge que anuncia l'entrellacament torni a le memories abans de poder tornar a intentar crear-ne un de nou. Pero a traves del protoco AFC (pinta de freqüencia atomica), que permet aquest enfocament de multiplexacio, e s investigadors poden emmagatzemar els fotons entrellacats en molts moments diferents en a memoria quantica, sense haver d'esperar-se que arribi el senyal d'exit abans de generar l següent parell de fotons entrellacats. Aquesta condicio, anomenada "**multiplexacio temporal** " es una caracteristica clau que representa un augment important en el temps operatiu del sistema, el que comporta un increment en la taxa d'entrellacament final.

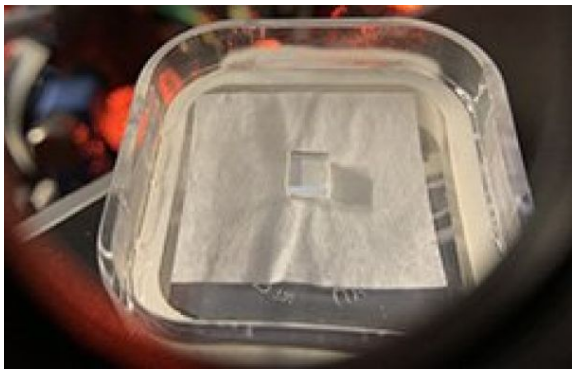
Propers passos

Tal i com comenta el Prof. ICREA a l'ICFO Hugues de Riedmatten: i¿½Vam concebre aques a idea fa mes de 10 anys, i estic encantat de veure que ara ha tingut exit al laboratori. Els següents passos seran portar l'experiment fora de laboratori, per intentar vincular dife ents nodes, i distribuir l'entrellacament a distancies molt mes grans mes enlla del ue hem aconseguit ara. De fet, estem en proces d'aconseguir el primer enllac quantic de 35 km, que es fara entre Barcelona i l'ICFO, a Castellde els.i¿½. Es clar que la futura xarxa quantica portara moltes aplicacions en un fu

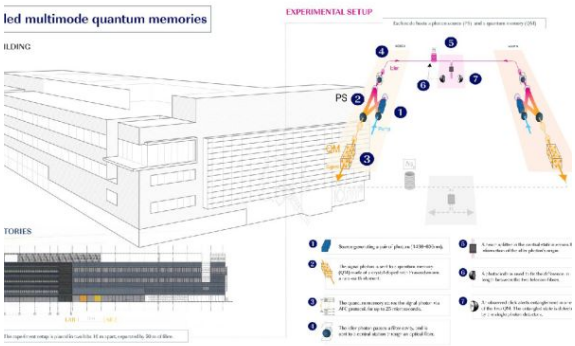
ur proxim. Aconseguir aquest objectiu confirma que estem en el cami correcte per d senvolupar aquestes noves tecnologies i comencar a implementar-les, en el que sera una no a forma de comunicacio, **Internet Quantic**.

Referencia: Telecom-heralded entanglement between multimode solid-state quantum memories
Dario Lago-Rivera, Samuele Grandi, Jelena V. Rakonjac, Alessandro Seri, and Hugues de Riedmatten, Nature, 2021, https://www.nature.com/articles/s41586-021-03481-8

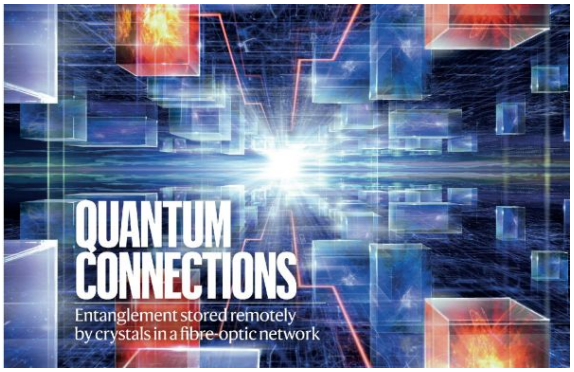
[1] El conjunt d'elements coneguts com a terres rares esta format per disset elements quimics, i inclouen els lantanids, grup on es troba el praseodimi (Pr), l'escandi (Sc) i l'itri (Y).



Close-up image of a rare-earth doped crystal used as a quantum memory. ©ICFO



Il·lustracio esquematica de l?experiment i de la seva ubicacio dins dels laboratoris.



Portada de Nature - 3 Junio