

Es transmet entrellacament entre llum i materia a la xarxa metropolitana de Barcelona

Investigadors de l'ICFO demostren la transmissio de l'entrellacament entre materia i llum al llarg de desenes de quilometres a traves de la fibra optica a Barcelona.

April 02, 2024

A mesura que s'intensifiquen els esforcos per a l'assoliment d'ordinadors quantics molt potents, existeix un programa paral·lel expandint-se rapidament que te com a objecti aconseguir l'analeg quantic de l'internet classic. Aquesta nova xarxa quantica proporcionar un nivell de ciberseguretat ultra-segur, garantit per les lleis de la fisica quantica, i es centrar en intercanviar qubits, els elements unitaris de la informacio quantica i aquells que formen e llenguatge dels ordinadors quantics. Com a part de la seva funcio, aquesta xarx proporcionara l'espai a traves del qual es podran connectar diferents ordinadors quantics, ta com es connecten els processadors classics en computacio en el nuvol

Com a opcio natural per a la futura infraestructura de l'internet quantic, la xarxa d

telecomunicacions existent proporciona un canal gairebe omnipresent a traves del qual l llum pot viatjar distancies molt llargues amb una absorcio limitada. Degut a la seva baix absorcio i alta velocitat, la llum es una gran candidata com a portadora d'informacio, ja sigu classica o quantica. La llum laser s'utilitza facilment per transferir informacio classica Internet, ja que l'atenuacio de la llum en les fibres optiques es compensa amb amplificador de llum col·locats cada desenes de quilometres dins d'aquestes fibres. No obstant aixo, a transferencia d'informacio quantica, es a dir, la comunicacio quantica, requereix mitjans mo t mes sofisticat
. Els bits quantics, els elements principals de la comunicacio quantica, estan codificats en a llum, concretament en fotons individuals. Pero aquesta codificacio quantica no es p t amplificar perque les regles de la mecanica quantica no ho permeten: si s'intenta amplific r el senyal codificat quanticament, la informacio d'aquest senyal que porten els fotons es v u greument danyada. Per tant, els amplificadors utilitzats en les xarxes classiques no es pod n utilitzar per a bits quantics. Aixo significa que es necessita una tecnologia radicalment no a per construir una versio quantica de l'internet: el **repetidor quantic**.
Aixi com els amplificadors de llum garanteixen la connectivitat entre ubicacions llunyanes, els repetidors quantics permetran la comunicacio a llarga distancia distribuint l' **entrellacament** entre ells. L'entrellacament es una propietat exclusivament quantica de dos objectes que mostren correlacions entre ells, les quals no es poden reproduir per mitjans classics, i es un dels components principals de la comunicacio quantica. Aquest es pot utilitzar per transferir informacio quantica, per exemple mitjancant teletransportacio quantica entre dos nodes d'un sistema de repetidor quantic.
Una forma d'establir **l'entrellacament remot entre dos nodes** es mitjancant la **transmissio directa**: es pot generar un parell de fotons entrellacats, un dels quals roman aturat al seu lloc mentre l'altre viatja a l'altra ubicacio. El segon foto que viatja ha de ser compatible amb la transmissio per fibra optica, mentre que el primer ha d'emmagatzemar-se en una memoria quantica, proces que es coneix com a entrellacament entre llum i materia.
Ara be, per **acoblar diversos nodes** i aconseguir un **entrellacament a llarga distancia** entre memories quantiques, es necessita un **conjunt de repetidors quantics**. Una arquitectura prometedora per a aquests nodes repetidors quantics es basa en buscar acoblar la generacio espontania d'uns parells de fotons - un proces conegut com a conversio descendent parametrica espontania (SPDC)- amb una memoria quantica externa.
Aquest es l'enfocament que han adoptat els investigadors de l'ICFO. En l'estudi publicat a Optica Quantum, **Jelena Rakonjac**, **Samuele Grandi**, **Soren Wengerowsky**, **Dario Lago-Rivera** i **Felicien Appas**, dirigits pel professor ICREA de l'ICFO **Hugues de Riedmatten**, demostren la **transmissio d'entrellacament entre materia i llum al llarg de desenes de quilometres a traves de fibra optica**.
En el seu experiment, van aconseguir generar parells de fotons, un dels quals s'emet a la longitud d'ona de telecomunicacions de 1436 nm, mentre que l'altre s'emet a 606 nm,

compatible amb les memories quantiques d'estat solid, construides amb cristalls especials dopats amb atoms de terres rares.
Llavors van utilitzar la xarxa metropolitana de fibra optica de Barcelona, connectant el seu sistema a dues fibres que anaven des de l'**ICFO**, a Castelldefels, fins al Centre de Telecomunicacions de Catalunya (**CTTI**), a l'Hospitalet de Llobregat. En connectar tots dos centres (anada i tornada), van crear un anell de 50 km, enviant els fotons fins al centre de Barcelona i de nou a l'ICFO. Amb aixo, van demostrar que, despres d'un **viatge complet de 50 km**, la llum generada al laboratori mantenia les seves caracteristiques quantiques, demostrant que els qubits fotonics mantenen el que se'n diu "coherencia" en recorrer desenes de quilometres en una fibra optica, fins i tot en area metropolitana.
No obstant aixo, la comunicacio quantica requereix utilitzar i verificar l'entrellacament entre ubicacions remotes, on els fotons entrellacats es detecten en ubicacions ben separades en l'espai i el temps. Tenint aixo en compte, els investigadors van ampliar la seva xarxa amb un nou node, aquesta vegada ubicat en la fundacio i2CAT, un edifici de Barcelona, a uns 44 quilometres de l'ICFO a traves de la xarxa local de fibra optica i 17 quilometres en linia recta. A l'i2CAT van instal·lar un detector de telecomunicacions per mesurar l'arribada de fotons d 1436 nm que arribaven a traves d'una de les fibres, mentre que l'altra fibra estava connectad a un transductor. Quan es detectava que un foto havia arribat, la senyal electrica generad pel detector es convertia novament en llum gracies al transductor i s'enviava a traves de l linia de la segona fibra optica. D'aquesta manera, la informacio va poder tornar a l'ICFO am gran precisio, tot i que el foto de 1436 nm es va detectar a uns 17 quilometres de distancia
L'experiment va validar el sistema utilitzat per generar entrellacament entre materia i llum i ha demostrat ser un dels candidats pioners per al desenvolupament d'un node-repetidor quantic, la tecnologia que permet la comunicacio quantica a llarga distancia. Ja s'han realitzat demostracions de prova de principi al laboratori i el grup ara esta treballant per millorar el rendiment tant de la memoria com de la font generadora de parells de fotons.
D'altra banda, els investigadors de l'ICFO estan col·laborant de manera activa amb Cellnex **(Xarxa oberta de Catalunya)** en la posada en marxa d'un nou laboratori a la torre de Collserola, en el context dels projectes **QNetworks** i EuroQCI Espanya, per dur a terme la realitzacio d'un estat entrellacat entre memories quantiques remotes. La creacio d'una xarxa troncal de llarga distancia per a la distribucio de l'entrellacament entre memories quantiques es tambe un dels principals objectius de la Quantum Internet Alliance (QIA), el projecte europeu lider en la realitzacio de l'internet quantic, projecte del que l'ICFO n'es un soci principal.

Els resultats d'aquest estudi, principalment "l**a transmissio de l'entrellacament entre materia i llum a traves de fibres optiques ja desplegades en una area metropolitana, son el pas inicial cap a la realitzacio d'un internet quantic complet, amb la nostra font de fotons i el nostre node, incloent-hi la memoria quantica, com a peces essencials en aquesta xarxa**", tal com

comenta Samuele Grandi, investigador de l'ICFO i coautor principal de l'estudi.

Com conclou el professor ICREA de l'ICFO Hugues de Riedmatten: "**L'entrellacament de materia-llum es un recurs clau per a la comunicacio quantica i s'ha demostrat moltes vegades al laboratori. Demostrar-ho en la xarxa de fibra instal·lada es un gran primer pas pe aconseguir dur a terme proves de la tecnologia de repetidors quantics en l'area d Barcelona, preparant el terreny per a xarxes de llarga distancia basades en fibra optica**".
Aquest projecte ha estat financat parcialment per la Generalitat de Catalunya, en particular per l'Acord de Govern marc i¿½Quantica - Vall de la Mediterrania de les Ciencies i l s Tecnologies Quantiquesi¿½ GOV/51/2022, impulsat per la Secretaria de Politiques Digital , i la Els programes QInfinity, Qollserola, Qsunset i QuantumCAT, aixi com el projecte eur peu Quantum Internet Alliance, i els programes nacionals Q-networks, EuroQCI-Espanya i Pla Complementari a les Comunicacions Quantiques.

Referencia: Transmission of Light-Matter Entanglement over a Metropolitan Network, Jelena V. Rakonjac, Samuele Grandi, Soren Wengerowsky, Dario Lago-Rivera, Felicien Appas, and Hugues de Riedmatten, Optica Quantum **1**, 94-102 (2023).

Agraiments i Financiacio: FUNDACIO Privada MIR-PUIG; Fundacion Cellex; Generalitat de Catalunya (AGAUR, CERCA); Agencia Estatal de Investigacion (BES-2017- 082464 CEX2019-000910-S, PID2019-106850RB- I00);Ministerio de Ciencia e Innovacion (IJC2020-044956-I, PLEC2021-007669, PRTR-C17.I1); European Regional Development Fund (Quantum CAT); Horizon 2020 Framework Programme (713729, 754510, 820445); EU Horizon Europe Research and Innovation programme (EuroQCI in Spain) (Project no.101091638). El projecte es realitza dins del marc de l'Acord de Govern i¿½Quantica - Vall de la Mediterran a de les Ciencies i les Tecnologies Quantiquesi¿½ GOV/51/2022, impulsat per la Secretari de Politiques Digitals de la Generalitat de Catalunya.