

Memorias cuanticas entrelazadas para un repetidor cuantico: cada vez mas cerca del Internet cuantico

- Investigadores del ICFO logran por primera vez, en un estudio publicado en Nature, el entrelazamiento de dos memorias cuanticas multimodo, localizadas en diferentes laboratorios separados por 10 metros, y anunciado por un foton en la longitud de onda de las telecomunicaciones.

- Los cientificos han implementado una tecnica que les permite alcanzar una tasa de entrelazamiento record, en un sistema que podria integrarse a la red de comunicacion tradicional por fibra optica, allanando el camino para operar a largas distancias.

- Los resultados se consideran un hito para las comunicaciones cuanticas y un gran paso adelante hacia el desarrollo de repetidores cuanticos, imprescindibles para el futuro Internet cuantico.

June 02, 2021

Durante la decada de los 90s se lograron avances importantes en el campo de las telecomunicaciones, consiguiendo extender la red a distancias mas alla de las ciudades y areas metropolitanas, marcando asi un antes y un despues en la comunicacion global. Para poder escalar el sistema se utilizaron repetidores, que mejoraban las senales atenuadas y les permitian viajar a distancias mas largas con las mismas caracteristicas de intensidad y fidelidad. Con la adicion de satelites al sistema, se ha logrado normalizar el hecho de estar perdido entre las montanas en Europa y poder hablar con amigos viviendo en la otra punta del mundo.

En el camino hacia construir el futuro Internet cuantico, las memorias cuanticas desempenan ese mismo papel. Junto con las fuentes generadoras de qubits, son los componentes basicos de este sistema, y actuan como repetidores de operaciones de datos utilizando la superposicion y el entrelazamiento como ingredientes claves. Pero, para poder operar un sistema como el Internet cuantico, primero es necesario entrelazar esas memorias a larga distancia, y mantener ese entrelazamiento de la manera mas eficiente posible.

Todo en uno

La revista Nature publica un estudio en el cual los cientificos del ICFO Dario Lago, Samuele Grandi, Alessandro Seri y Jelena Rakonjac, dirigidos por el profesor ICREA del ICFO Hugues de Riedmatten, han logrado, por primera vez, un entrelazamiento materia-materia entre dos memorias cuanticas. Este entrelazamiento se ha conseguido entre memorias de estado solido, con propiedades multimodo, remotas - colocadas a cierta distancia -, y operando en la longitud de onda de las telecomunicaciones, siendo por lo tanto una tecnologia potencialmente escalable. Dicho de manera mas simple; han conseguido almacenar, durante un maximo de 25 microsegundos, un unico foton entre dos memorias cuanticas separadas entre si por 10 m de distancia.

? Descripcion: Imagen izquierda: Cristal de memoria cuantica dentro del criostato en
l laboratorio. Imagen derecha: foto del cristal dopado con elementos de tierras rar
s (Praseodymium), utilizado como memoria cuantic
. Los investigadores sabian que el foton estaba en una de las dos memorias, pero no sabian
n cual. Esto enfatiza la nocion clasica y anti-intuitiva que tenemos de la naturaleza; el fo
on estaria en un estado de superposicion cuantico en dos memorias a la vez,
ue, sorprendentemente, se encontraban a 10 metros de distancia. El equipo supo que se h
bia creado entrelazamiento **detectar un foton en la longitud de onda de las**

telecomunicaciones, que se almaceno en las memorias cuanticas de **forma multiplex**, una tecnica que permite enviar varios mensajes simultaneamente por un solo canal de comunicacion. Estas dos caracteristicas - lograr entrelazamiento en la longitud de onda de las telecomunicaciones y de forma multiplex - son clave para poder escalar/extender el sistema a grandes distancias, y se han logrado juntas por primera vez.
Como senala con entusiasmo Dario Lago, estudiante de doctorado en ICFO y primer autor del estudio: i¿½Hasta ahora, otros grupos ya habian conseguido varios de los hitos lograd s en este experimento, como entrelazar memorias cuanticas o almacenar fotones en memori s cuanticas con una eficiencia y tasa elevadas. Pero la singularidad de este experimento es q e nuestras tecnicas lo han logrado de manera conjunta y eficiente, y que el sistema pue e llegar a extenderse a grandes distancias

Configurando el experimento

Lograr este objetivo ha necesitado de esfuerzo y tiempo. El equipo preparo el experimento durante el transcurso de varios meses, utilizando como memorias cuanticas unos cristales base dopados con praseodimio, un elemento quimico del grupo de las de tierras raras[1].

Tambien se utilizaron dos fuentes generadoras de pares de fotones, correlacionados e individuales. En cada par de fotones, habia uno llamado i¿½**mensajero**i¿½, con una longit d dentro del rango de las telecomunicaciones de 1436nm ; y el otro, llamado i¿½**senali¿½,** con una longitud de onda de 606nm. **Los fotones senal se enviaron a una memoria cuantica**, formada por millones de atomos colocados aleatoriamente dentro de un cristal, y se almacenaron alli a traves de un protocolo llamado AFC - por las siglas en ingles de peine de frecuencia atomica. A su vez, los **fotones mensajeros se enviaron a traves de una fibra optica a un dispositivo llamado divisor de haz**, donde se borro por completo la informacion sobre su origen y trayectoria. Samuele Grandi, investigador postdoctoral y coautor del estudio, comenta: i¿½Borramos cualquier tipo de caracteristica que nos dijera de donde procedian l s fotones mensajeros, porque no queriamos tener ninguna informacion sobre el foton senal i intuir en que memoria cuantica se estaba almacenandoi¿½. Al borrar estas caracteristicas el foton senal podia almacenarse en cualquiera de las memorias cuanticas, lo que signifi aba que habia entrelazamiento entre el

s. Descripcion: Ilustracion esquematica del experimento y su ubicacion dentro en los laboratorios de I

O. Para confirmar y verificar que, de hecho, se habia conseguido un entrelazamiento, los cientificos veian en el monitor un clic cada vez que el **foton mensajero** llegaba al detector. Este entrelazamiento era el **foton senal** en estado de superposicion entre las dos memorias

cuanticas, almacenandose como una excitacion compartida por decenas de millones de atomos durante un maximo de 25 microsegundos.
Como mencionan Sam y Dario, ¡¿½Lo curioso del experimento es que no era posible saber i el foton estaba almacenado en la memoria cuantica del laboratorio 1 o del laboratorio 2, q e estaban a mas de 10 metros de distancia. Aunque esta es la caracteristica principal e nuestro experimento, y por tanto algo que esperabamos que ocurriese, los resultados en l laboratorio seguian siendo contrarios a la intuicion. Y aun mas peculiar y alucinante pa a nosotros, ¡fuimos capaces de controlarl

La importancia de los fotones mensajeros
La mayoria de los estudios previos han experimentado con el entrelazamiento y memorias cuanticas utilizando fotones mensajeros para saber si el entrelazamiento entre las memorias cuanticas habia tenido exito o no. Un foton mensajero es como una paloma mensajera, y los cientificos pueden saber a su llegada que se ha establecido el entrelazamiento entre las memorias cuanticas. Cuando esto sucede, los intentos de entrelazamiento se detienen y el entrelazamiento se almacena en las memorias antes de ser analizado.
En este experimento se usa un foton mensajero en la frecuencia de las telecomunicaciones. Por lo tanto, el entrelazamiento que se produce podria establecerse con un foton compatible con las redes de telecomunicaciones existentes. Este hecho representa una hazana considerable, ya que permitiria crear entrelazamientos a largas distancias y que estas tecnologias cuanticas se integrasen facilmente en las redes e infraestructuras clasicas de telecomunicaciones ya existentes.

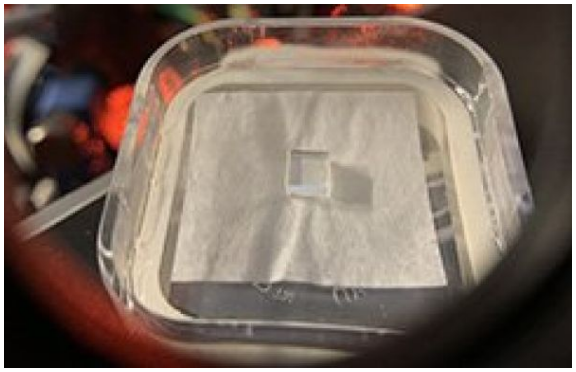
La multiplexacion es clave
La multiplexacion es la capacidad que tiene un sistema en enviar varios mensajes al mismo tiempo a traves de un solo canal de transmision. En las telecomunicaciones clasicas, es una herramienta que se utiliza con frecuencia para transmitir datos a traves de Internet. En los repetidores cuanticos, esta tecnica es un poco mas compleja. Con las memorias cuanticas estandares, uno tiene que esperar a que el mensaje que anuncia el entrelazamiento regrese a las memorias antes de poder volver a intentar crear un nuevo entrelazamiento. Pero a traves del protocolo AFC (peine de frecuencia atomica) que permite este enfoque de multiplexacion, los investigadores pueden almacenar los fotones entrelazados en muchos momentos diferentes en la memoria cuantica, sin tener que esperar a que llegue la senal de exito antes de generar el siguiente par de fotones entrelazados. Esta condicion, denominada i¿½**multiplexacion temporal**i¿½ es una caracteristica clave que representa un aumen o importante en el tiempo operativo del sistema, lo que conlleva a un incremento en la tasa e entrelazamiento fina

Proximos pasos

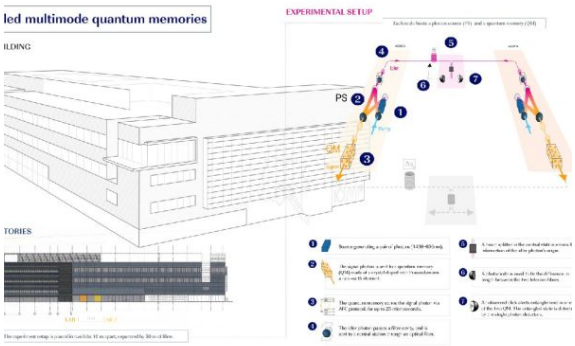
Tal y como comenta el Prof. ICREA del ICFO Hugues de Riedmatten: i¿½Concebimos es
a idea hace mas de 10 anos, y estoy encantado de ver que ahora ha tenido exito en
l laboratorio. Los siguientes pasos son llevar el experimento fuera del laboratorio, para intent
r vincular diferentes nodos y distribuir el entrelazamiento en distancias mucho mayores, m
s alla de lo que hemos conseguido ahora. De hecho, estamos en medio de conseguir el prim
r enlace cuantico de 35km, que se hara entre Barcelona y el ICFO, en Castelldefelsi?
½. Esta claro que la futura red cuantica traera muchas aplicaciones en un futuro proximo. Lo
rar este objetivo confirma que estamos en el camino correcto para desarrollar estas nu
vas tecnologias y comenzar a implementarlas en lo que sera una nueva forma de comunicac
on, el **Internet Cuantico**.

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

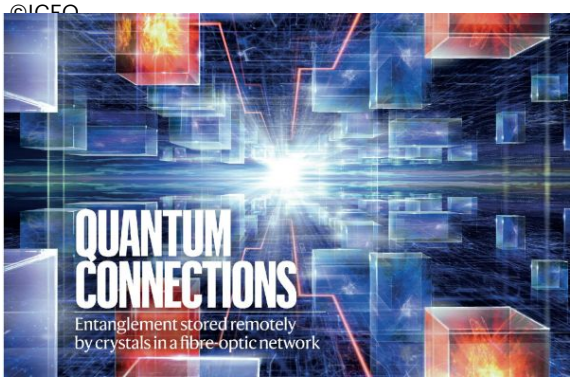
[1] El grupo de elementos conocido como tierras raras esta compuesto por los elementos del grupo lantanidos: lantano (La), cerio (Ce), **praseodimio (Pr),** neodimio (Nd), prometio (Pm), etc.



Ilustracion esquematica del experimento y su ubicacion dentro en los laboratorios de ICFO. ©ICFO



Ilustracion esquematica del experimento y su ubicacion dentro en los laboratorios de ICFO.



Portada de Nature - 3 Junio