



Se transmite entrelazamiento entre luz y materia en la red metropolitana de Barcelona

Investigadores del ICFO demuestran la transmisión de la entrelaza entre materia y luz al largo de diseños de kilómetros a través de la fibra óptica a Barcelona.

April 02, 2024

A medida que se intensifican los esfuerzos hacia la consecución de ordenadores cuánticos muy potentes, existe un programa paralelo en rápida expansión que tiene como objetivo lograr el análogo cuántico del internet clásico. Esta nueva red cuántica proporcionará un nivel de ciberseguridad ultra-segura, garantizada por las leyes de la física cuántica y se centrará en intercambiar qubits, los elementos unitarios de la información cuántica y aquellos que forman el lenguaje de los ordenadores cuánticos. Como parte de su función, esta red proporcionará el espacio a través del cual se podrán conectar diferentes ordenadores cuánticos, tal y como se conectan los procesadores clásicos en computación en la nube.?

Como opción natural para la futura infraestructura del Internet cuántico, la red de telecomunicaciones existente proporciona un canal casi ubicuo a través del cual la luz puede viajar distancias muy grandes con una absorción limitada. Debido a su baja absorción y alta velocidad, la luz es una gran candidata como portadora de información, ya sea clásica o cuántica. La luz láser se usa fácilmente para transferir información clásica en Internet, ya que la atenuación de la luz en las fibras ópticas se compensa con amplificadores de luz colocados cada decenas de kilómetros dentro de estas fibras. Sin embargo, la transferencia de información cuántica, es decir, la comunicación cuántica, requiere medios mucho más sofisticados.

Los bits cuánticos, los elementos principales de la comunicación cuántica, están codificados en la luz, concretamente en fotones individuales. Pero esta codificación cuántica no se puede amplificar porque las reglas de la mecánica cuántica no lo permiten: si se intenta amplificar la señal codificada cuántica, la información de esta señal que llevan los fotones se ve gravemente dañada. Por tanto, los amplificadores utilizados en las redes clásicas no se pueden utilizar para bits cuánticos como amplificadores. Esto significa que se necesita una tecnología radicalmente nueva para construir una versión cuántica del internet: el repetidor cuántico.

Así como los amplificadores de luz garantizan la conectividad entre ubicaciones distantes, los repetidores cuánticos permitirán la comunicación a larga distancia distribuyendo el **entrelazamiento** entre ellos. El entrelazamiento es una propiedad exclusivamente cuántica de dos objetos que muestran correlaciones entre ellos, que no pueden reproducirse por medios clásicos, y es uno de los componentes principales de la comunicación cuántica. Puede utilizarse para transferir información cuántica, por ejemplo mediante teletransportación cuántica entre dos nodos de un sistema de repetidor cuántico.

Una forma de establecer el **entrelazamiento remoto entre dos nodos** es mediante la **transmisión directa**: se puede generar un par de fotones entrelazados, uno de los cuales permanece quieto en el lugar mientras el otro viaja a la otra ubicación. El segundo fotón que viaja debe ser compatible con la transmisión por fibra óptica, mientras que el primero debe almacenarse en una memoria cuántica, proceso que se conoce como entrelazamiento entre luz y materia.?

Ahora bien, para **acoplar varios nodos** y lograr un **entrelazamiento a larga distancia** entre memorias cuánticas, se necesita un **conjunto de repetidores cuánticos**. Una arquitectura prometedora para estos nodos repetidores cuánticos se basa en buscar acoplar la generación espontánea de unos pares de fotones - un proceso conocido como conversión descendente espontánea (SPDC)- con una memoria cuántica externa.

Este es el enfoque que han adoptado los investigadores del ICFO. En el estudio publicado en *Optica Quantum*, **Jelena Rakonjac, Samuele Grandi, Soren Wengerowsky, Dario Lago-Rivera y Felicien Appas**, dirigido por el profesor ICREA del ICFO **Hugues de Riedmatten**, demuestran la **transmisión de entrelazamiento entre materia y luz a lo largo de decenas de kilómetros a**

traves de fibra optica.?

En su experimento, lograron generar pares de fotones, uno de los cuales se emite en la longitud de onda de telecomunicaciones de 1436 nm, mientras que el otro se emite en 60 nm, compatible con las memorias cuanticas de estado solido, construidas con cristales especiales dopados con atomos de tierras raras

Luego utilizaron la red metropolitana de fibra optica de Barcelona, conectando su sistema a dos fibras que iban desde **ICFO**, en Castelldefels, hasta el Centro de Telecomunicaciones de Catalunya (**CTTI**), en Hospitalet de Llobregat. Al conectar ambos centros (ida y vuelta), crearon un anillo de 50 km, enviando los fotones hasta el centro de Barcelona y de regreso al ICFO. Con esto, demostraron que, despues de un **viaje completo de 50 km**, la luz generada en el laboratorio mantenía sus características cuanticas, demostrando que los qubits fotonicos mantienen lo que se llama *¿½coherencia¿½* al recorrer decenas de kilometros en una fibra optica, incluso en area metropolitana. Sin embargo, la comunicacion cuantica requiere utilizar y verificar el entrelazamiento entre ubicaciones remotas, donde los fotones entrelazados se detectan en ubicaciones bien separadas en el espacio y el tiempo. Teniendo esto en cuenta, los investigadores ampliaron su red con un nuevo nodo, esta vez ubicado en [Fundación i2CAT](#), un edificio de Barcelona, a unos 44 kilometros del ICFO a traves de la red local de fibra optica y 17 kilometros en linea recta.

En i2CAT instalaron un detector de telecomunicaciones para medir la llegada de fotones de 1436nm que llegaban a traves de una de las fibras, mientras que la otra fibra estaba conectada a un transductor. Cuando el detector detectaba que un foton habia llegado, la señal electrica generada del detector se convertia nuevamente en luz gracias al transductor y se enviaba a traves de la linea de la segunda fibra optica. De este modo, la informacion pudo transmitirse al ICFO con gran precision, aunque el foton de 1436nm se detecto a unos 17 kilometros de distancia.

El experimento valido el sistema utilizado para generar entrelazamiento entre materia y luz y ha demostrado ser uno de los candidatos pioneros para el desarrollo de un nodo-repetidor cuantico, la tecnologia que permite la comunicacion cuantica a larga distancia. Ya se han realizado demostraciones de prueba de principio en el laboratorio y el grupo ahora esta trabajando para mejorar el rendimiento tanto de la memoria como de la fuente generadora de pares de fotones.

Por otra parte, los investigadores del ICFO estan colaborando de manera activa con [Cellnex \(Xarxa obierta de Catalunya\)](#) en la puesta en marcha de un nuevo laboratorio en la torre de Collserola, en el contexto de los proyectos **QNetworks** y [EuroQCI Espana](#), para llevar a cabo la realizacion de un estado entrelazado entre memorias cuanticas remotas. La creacion de una red troncal de larga distancia para la distribucion del entrelazamiento entre memorias cuanticas es tambien uno de los principales objetivos del [Quantum Internet Alliance](#) (QIA), el

proyecto europeo lider en la realizacion del internet cuantico, proyecto en el cual ICFO es un socio principal.

Los resultados de este estudio, principalmente *¿la transmision del entrelazamiento entre materia y luz a traves de fibras opticas ya desplegadas en un area metropolitana, son el primer paso inicial hacia la realizacion de un internet cuantico completo, con nuestra fuente de fotones y nuestro nodo, incluyendo la memoria cuantica, como piezas esenciales en esta red*", tal y como comenta Samuele Grandi, investigador del ICFO y coprimero autor del estudio. Como concluye el profesor ICREA del ICFO Hugues de Riedmatten: *¿El entrelazamiento de materia-luz es un recurso clave para la comunicacion cuantica y se demostro muchas veces en el laboratorio. Demostrarlo en la red de fibra instalada metropolitana es un primer paso para conseguir llevar a cabo pruebas de la tecnologia de repetidores cuanticos en el area de Barcelona, preparando el terreno para redes de larga distancia basadas en fibra optica*

Este proyecto ha sido financiado parcialmente por la Generalitat de Catalunya, en particular por el Acuerdo de Gobierno marco *¿Quantica - Vall de la Mediterrania de les Ciencies i les Technologies Quantiques¿ GOV/51/2022*, impulsado por la Secretaria de Politicas Digitales, y los programas QInfinity, Qollserola, Qsunset y QuantumCAT, asi como el proyecto europeo Quantum Internet Alliance, y los programas nacionales Q-networks, EuroQCI-Espana y Plan Complementario a las Comunicaciones Cuanticas.

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).

Agradecimientos y Financiacion: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 proyecto se realiza dentro del marco del Acuerdo de Gobierno ¿Quantica - Valle de la Mediterrania de les Ciencies i les Technologies Quantiques¿ GOV/51/2022, impulsado por la Secretaria de Politicas Digitales de la Generalitat de Catalunai¿*