

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

Investigadores del ICFO demuestran la transmision de la entretela entre materia y luz al largo de disenos de kilometros a traves de la fibra optica a Barcelona.

April 02, 2024

A medida que se intensifican los esfuerzos hacia la consecucion de ordenadores cuanticos muy potentes, existe un programa paralelo en rapida expansion que tiene como objetivo lograr el analogo cuantico del internet clasico. Esta nueva red cuantica proporcionara un nivel de ciberseguridad ultra-segura, garantizada por las leyes de la fisica cuantica y se centrara en intercambiar qubits, los elementos unitarios de la informacion cuantica y aquellos que forman el lenguaje de los ordenadores cuanticos. Como parte de su funcion, esta red proporcionara el espacio a traves de la cual se podran conectar diferentes ordenadores cuanticos, tal y como se conectan los procesadores clasicos en computacion en la nube.?

Como opcion natural para la futura infraestructura del Internet cuantico, la red d telecomunicaciones existente proporciona un canal casi ubicuo a traves del cual la luz pued viajar distancias muy grandes con una absorcion limitada. Debido a su baja absorcion y alt velocidad, la luz es una gran candidata como portadora de informacion, ya sea clasica cuantica. La luz laser se usa facilmente para transferir informacion clasica en Internet, ya qu la atenuacion de la luz en las fibras opticas se compensa con amplificadores de lu colocados cada decenas de kilometros dentro de estas fibras. Sin embargo, la transferenci de informacion cuantica, es decir, la comunicacion cuantica, requiere medios mucho ma sofisticados

Los bits cuanticos, los elementos principales de la comunicacion cuantica, estan codificado en la luz, concretamente en fotones individuales. Pero esta codificacion cuantica no s puede amplificar porque las reglas de la mecanica cuantica no lo permiten: si se intent amplificar la senal codificada cuantica, la informacion de esta senal que llevan los fotones s ve gravemente danada. Por tanto, los amplificadores utilizados en las redes clasicas no s pueden utilizar para bits cuanticos como amplificadores. Esto significa que se necesita un tecnologia radicalmente nueva para construir una version cuantica del internet: el repetido cuantico

Asi como los amplificadores de luz garantizan la conectividad entre ubicaciones distantes los repetidores cuanticos permitiran la comunicacion a larga distancia distribuyendo el **entrelazamiento** entre ellos. El entrelazamiento es una propiedad exclusivamente cuantica de dos objetos que muestran correlaciones entre ellos, que no pueden reproducirse por medios clasicos, y es uno de los componentes principales de la comunicacion cuantica. Puede utilizarse para transferir informacion cuantica, por ejemplo mediante teletransportacion cuantica entre dos nodos de un sistema de repetidor cuantico.

Una forma de establecer el **entrelazamiento remoto entre dos nodos** es mediante la **transmision 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 ubicacion. El segundo foton que viaja debe ser compatible con la transmision por fibra optica, mientras que el primero debe almacenarse en una memoria cuantica, 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 cuanticas, se necesita un **conjunto de repetidores cuanticos**. Una arquitectura prometedora para estos nodos repetidores cuanticos se basa en buscar acoplar la generacion espontanea de unos pares de fotones - un proceso conocido como conversion descendente espontanea (SPDC)- con una memoria cuantica 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 **transmision de entrelazamiento entre materia y luz a lo largo de decenas de kilometros a**

traves de fibra optica.?

En su experimento, lograron generar pares de fotones, uno de los cuales se emite en l 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 cristale especiales dopados con atomos de tierras raras

Luego utilizaron la red metropolitana de fibra optica de Barcelona, conectando su sistema dos fibras que iban desde**ICFO**, en Castelldefels, hasta el Centro de Telecomunicaciones de Cataluna (**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 mantenia sus caracteristicas cuanticas, demostrando que los qubits fotonicos mantienen lo que se llama i¿½coherenciai¿½ al recorrer decenas de kilometros en una f bra optica, incluso en area metropolit

na. Sin embargo, la comunicacion cuantica requiere utilizar y verificar el entrelazamiento e tre ubicaciones remotas, donde los fotones entrelazados se detectan en ubicaciones ien separadas en el espacio y el tiempo. Teniendo esto en cuenta, los investigadores ampli ron su red con un nuevo nodo, esta vez ubicado en la fundacion 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 senal 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 i¿½la transmision del entrelazamiento ent e materia y luz a traves de fibras opticas ya desplegadas en un area metropolitana, son el pa o 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 coprimer autor del estudi . Como concluye el profesor ICREA del ICFO Hugues de Riedmatten: i¿½El entrelazamient de materia-luz es un recurso clave para la comunicacion cuantica y se demostro muchas v ces en el laboratorio. Demostrarlo en la red de fibra instalada metropolitana es un primer ran paso para conseguir llevar a cabo pruebas de la tecnologia de repetidores cuanticos e el area de Barcelona, preparando el terreno para redes de larga distancia basadas en f bra opticai
Este proyecto ha sido financiado parcialmente por la Generalitat de Cataluna, en particular por el Acuerdo de Gobierno marco i¿½Quantica - Vall de la Mediterrania de les Ciencies i l s Tecnologies Quantiquesi¿½ GOV/51/2022, impulsado por la Secretaria de Politicas Digita es, y la Los programas QInfinity, Qollserola, Qsunset y QuantumCAT, asi como el proy cto europeo Quantum Internet Alliance, y los programas nacionales Q-networks, EuroQCI-Es ana 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).i¿½ l proyecto se realiza dentro del marco del Acuerdo de Gobierno i¿½Quantica - Valle e la Mediterrania de les Ciencies i les Tecnologies Quantiquesi¿½ GOV/51/2022, impulsado por la Secretaria de Politicas Digitales de la Generalitat de Catalunai¿½