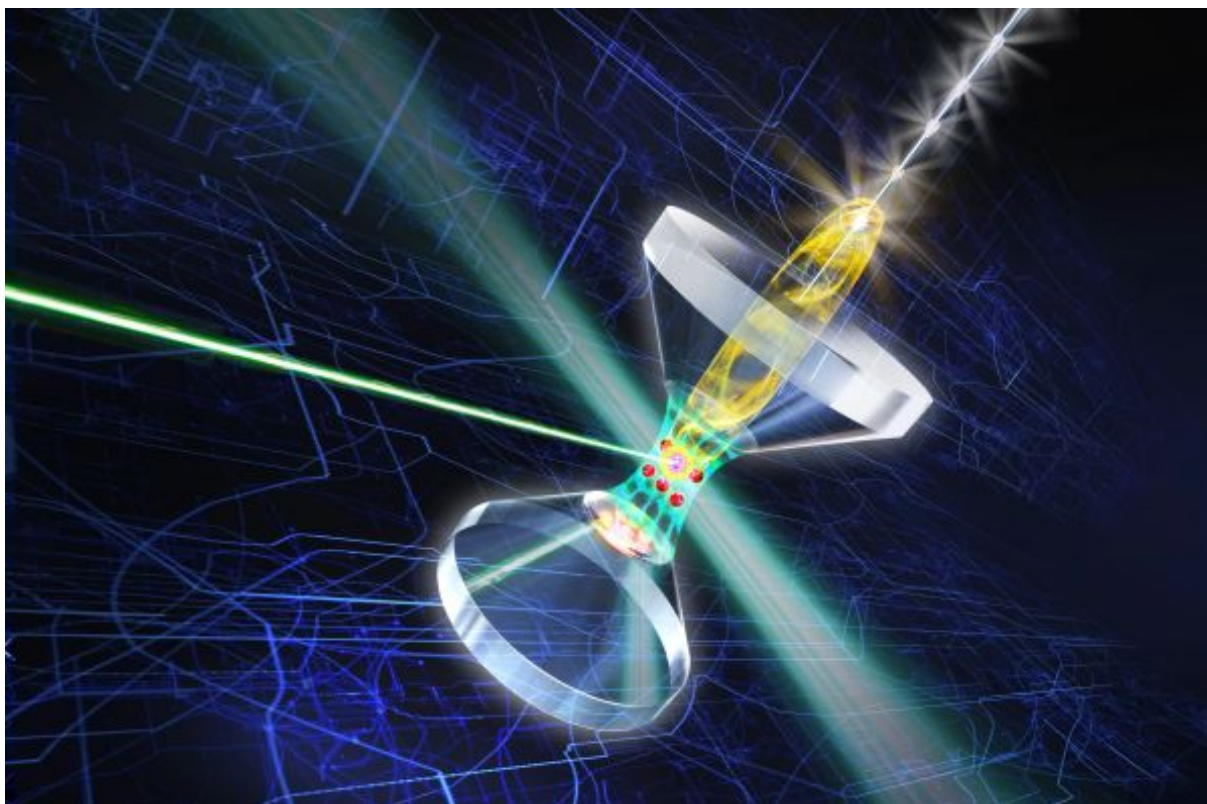




Propagacion segura de entrelazamiento con solo presionar un boton

Un equipo de fisicos, dirigido por investigadores del MPQ, utiliza pinzas opticas en resonadores opticos para crear entrelazamientos en una red cuantica.

July 12, 2024

El entrelazamiento, la "accion espeluznante a distancia" de Einstein, es hoy en dia la herramienta para la ciencia de la informacion cuantica. Es el recurso esencial para los ordenadores cuanticos y para transmitir informacion cuantica en una futura red cuantica. Pero esta herramienta es muy sensible, ya que es un enorme desafio entrelazar bits cuanticos en reposo (qubits) con qubits en vuelo en forma de fotones "con solo presionar un boton". Ahora, un equipo dirigido por **Gerhard Rempe**, director del [Instituto Max Planck de Optica Cuantica](#) en Garching, Alemania, ha logrado hacer exactamente eso con atomos conectados en paralelo, intercalados entre dos espejos casi perfectos. Esta configuracion garantiza una

interacción fiable con fotones en forma de qubits en vuelo, una técnica de la que fue pionero Gerhard Rempe. Utilizando pinzas ópticas, el equipo pudo controlar individualmente hasta seis átomos y entrelazar cada uno con un fotón. Mediante una técnica de multiplexación, los científicos demostraron la generación de entrelazamiento átomo-fotón con casi un 100 por ciento de eficiencia, un logro innovador para distribuir el entrelazamiento a través de una red cuántica. El trabajo se [publica hoy en la revista Science](#).

Las interfaces entre qubits en reposo y qubits en movimiento o en vuelo entran en juego siempre que es necesario transmitir información cuántica a largas distancias. "Un aspecto es la comunicación de información cuántica a largas distancias en un futuro Internet cuántico", explica **Emanuele Distante**, que supervisó el experimento como investigador postdoctoral y ahora es investigador en el ICFO de Barcelona: "El segundo aspecto es el objetivo de conectar muchos qubits en una red distribuida para crear un ordenador cuántico más poderoso. Ambas aplicaciones requieren interfaces eficientes entre qubits en reposo y qubits en movimiento. Esta es la razón por la que muchos grupos en todo el mundo están investigando de manera acelerada interfaces a nivel cuántico de para la interacción de materia-luz".

Se están aplicando varios enfoques técnicos diferentes. Gerhard Rempe y su equipo de Garching llevan muchos años trabajando en un método que utiliza, como resonador óptico, átomos de rubidio ultrafríos capturados y atrapados entre dos espejos casi perfectos. La meta se centra en construir un Internet cuántico futuro. Este enfoque tiene una ventaja inherente porque permite que un átomo atrapado interactúe de una manera muy eficiente con un fotón, que rebota entre los dos espejos unas veinte mil veces como una pelota de ping-pong. Además, como uno de los dos espejos es ligeramente más transparente que el otro, el fotón sale en una dirección exactamente predeterminada. Esto significa que no se pierde, sino que se puede acoplar de forma fiable a una fibra óptica. Si este fotón se entrelaza con el átomo mediante un protocolo específico de pulsos de luz láser, este entrelazamiento se mantiene a medida que el fotón viaja.

Multiplexación para evitar pérdidas de transmisión

En 2012, el equipo de Garching logró entrelazar un átomo en un resonador con un segundo átomo en otro resonador mediante una "radio de fotones" a través de una fibra de vidrio de 60 metros de largo. Con la ayuda del fotón transmitido, formaron un objeto cuántico entrelazado extendido a partir de los dos átomos. Sin embargo, el fotón no debe perderse en la fibra de vidrio durante el camino, y este es precisamente el problema con viajes de distancias más largas. La solución, al menos para distancias medias de unos pocos kilómetros, se llama "multiplexación o multiplexado". La multiplexación es un método estándar utilizado en la tecnología de la información clásica para hacer que la transmisión sea más robusta. Es como un enlace de radio a través de un área ruidosa: si envía la señal de radio a través de varios canales paralelos, aumenta la probabilidad de que llegue al receptor.

a través de al menos un canal.

"Sin la multiplexación ni siquiera nuestro Internet actual funcionaría", explica Distant: "Pero trasladar este método a los sistemas de información cuánticos supone un desafío especial". La multiplexación no solo es interesante para una transmisión más segura a distancias más largas en un Internet cuántico futuro, sino también para una red cuántica local. Un ejemplo es el ordenador cuántico distribuido, que consta de varios procesadores más pequeños conectados mediante fibras ópticas cortas. Sus qubits en reposo podrían entrelazarse de manera más confiable mediante la multiplexación con qubits en movimiento para formar un ordenador cuántico distribuido y más poderoso.

Pinzas ópticas para manipular átomos

El desafío para el equipo de Garching fue cargar varios átomos dentro de un resonador como qubits en reposo y manipularlos individualmente. Solo si se conoce la posición de los átomos se pueden entrelazar en paralelo, con un fotón cada uno, para lograr la multiplexación. Por tanto, el equipo desarrolló una técnica para insertar pinzas ópticas en el resonador estrecho. "Los espejos están separados solo por medio milímetro aproximadamente", explica **Lukas Hartung**, estudiante de doctorado y primer autor del artículo de Science.

Las pinzas ópticas consisten en finos rayos láser que son lo suficientemente potentes como para capturar un átomo en su foco y moverlo con precisión a la posición deseada. Usando hasta seis de estas pinzas, el equipo pudo organizar una cantidad correspondiente de átomos de rubidio flotantes en la cavidad para formar una red ordenada de qubits. Dado que los átomos pueden permanecer fácilmente en la trampa durante un minuto (para la física cuántica es una eternidad), podrían fácilmente entrelazarse con un fotón cada uno. "Esto funciona casi el cien por ciento de las veces", dice Distant, destacando la ventaja clave de esta técnica: la distribución del entrelazamiento funciona casi "determinísticamente", es decir, con solo presionar un botón.

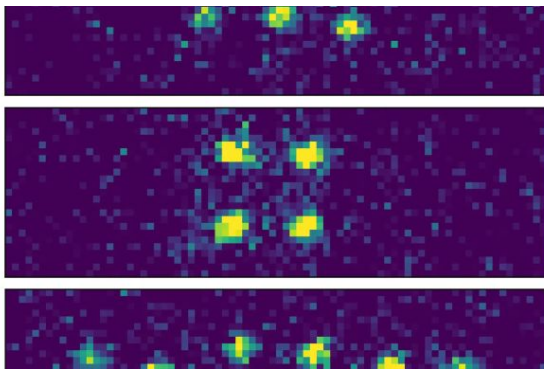
Escalable a muchos más qubits

Para lograrlo, el equipo utilizó un objetivo de lente de microscopio, colocado con precisión micrométrica encima del resonador, para enfocar los haces individuales de las pinzas de luz en la cavidad estrecha del espejo. Las pinzas ópticas se generan mediante los llamados deflectores acústico-ópticos y, por tanto, pueden controlarse de manera individual. El ajuste preciso de las pinzas ópticas requiere mucha destreza. "Superar este desafío fue la piedra angular del éxito del experimento", resume **Stephan Welte**, que participó en el desarrollo de la tecnología como parte del equipo y ahora es investigador en ETH Zurich.

El experimento actual da lugar a perspectivas muy prometedoras de que el método pueda ampliarse a muchos más qubits sin tener pérdidas: el equipo estima que dentro de un resonador de este tipo se podrían controlar hasta 200 átomos. Dado que estos bits cuánticos se pueden controlar muy bien en el resonador, esto sería un gran paso adelante. Y como la

interfaz incluso alimenta el cien por cien de los fotones entrelazados en la fibra optica, seria plausible e imaginable una red de muchos resonadores, cada uno con 200 atomos como qubits en reposo. Esto daria como resultado un poderoso ordenador cuantico. Sigue siendo un sueno de futuro. Pero con las pinzas opticas, el equipo de Garching tiene ahora bajo control una parte significativa de este futuro.

Articulo citado: L. Hartung, M. Seubert, S. Welte, E. Distante, G. Rempe. [A quantum-network register assembled with optical tweezers in an optical cavity](#). Science (2024)



Los cientificos han podido manipular hasta seis atomos de rubidio como bits cuanticos en el resonador optico con las pinzas de luz. Para hacerlos visibles, los atomos se excitan para que emitan luz. En teoria, el resonador puede albergar hasta 200 atomos