

Fotones indistinguibles a partir de nodos cuanticos atomicos diferentes

Investigadores del ICFO obtienen un record mundial de indistinguibilidad entre dos fotones procedentes de dos nodos cuanticos diferentes cuando no se descarta ninguna deteccion. Estos resultados allanan el camino hacia futuras redes cuanticas heterogeneas.

July 10, 2024

El desarrollo del internet cuantico es un esfuerzo notable que se realiza paralelo a la busqueda de ordenadores cuanticos practicos. Esta red cuantica tiene como objetivo facilitar el intercambio de bits cuanticos de informacion (llamados qubits) entre procesadores cuanticos, permitiendo niveles sin precedentes de comunicacion segura y potencia computacional.

Un objetivo clave de una red cuantica es crear un entrelazamiento remoto entre dos unidades de procesamiento distantes, que luego pueden utilizarse para aplicaciones especificas. Para lograrlo, los investigadores estan explorando una nueva tecnologia llamada repetidor cuantico, que facilita la generacion y transmision de entrelazamiento entre dos

estaciones intermedias, conocidas como nodos cuanticos. Sin embargo, los sistemas fisicos utilizados como repetidores cuanticos pueden diferir significativamente de los utilizados en los ordenadores cuanticos. Por lo tanto, es crucial desarrollar una interfaz entre estas diversas plataformas.

La interfaz entre estos sistemas normalmente implica enviar fotones individuales desde cada uno y hacerlos interferir. La calidad de esta interferencia cuantica determina la eficacia con la que se puede distribuir el entrelazamiento por la red. Lograr una interferencia de alta calidad es un desafio porque los fotones deben ser indistinguibles, y cuando los nodos cuanticos se basan en diferentes tecnologias, hacer que emitan fotones indistinguibles es particularmente dificil. Una solucion comun a este problema es seleccionar solo una pequena parte de los fotones emitidos, lo que aumenta la indistinguibilidad, pero a expensas de una fuerte reduccion en la tasa de deteccion.

En este contexto, los investigadores del ICFO **Dr. Felix Hoffer, Dr. Jan Lowinski, Dr. Lukas Heller, Dr. Auxiliadora Padron-Brito**, dirigidos por el **Prof. ICREA Hugues de Riedmatten**, han logrado producir fotones altamente indistinguibles a partir de nodos cuanticos diferentes sin descartar ninguna deteccion, **logrando un record mundial de indistinguibilidad en el campo de las redes cuanticas hibridas en tales condiciones**. Los resultados se han publicado recientemente en Physical Review X Quantum.

Como obtener fotones indistinguibles a partir de nodos cuanticos

Para comprobar la indistinguibilidad de los fotones emitidos, el equipo primero tuvo que recrear la unidad basica tipica de una red cuantica: dos nodos cuanticos con diferentes tecnologias. En su caso, los dos nodos se basaban en atomos frios de Rubidio. Uno de ellos se baso en un conjunto de Rydberg frio completamente bloqueado (a veces llamado superatomo de Rydberg). Este sistema permite capacidades de procesamiento cuantico y, en este experimento, genero fotones individuales bajo demanda. El otro era un nodo repetidor cuantico basado en una memoria cuantica emisora ??y que emitia fotones individuales anunciados.

Los investigadores utilizaron la memoria cuantica para sincronizar la emision de los dos fotones. En la memoria emisora se realizan varias pruebas de generacion hasta que la deteccion de un foton anuncia la presencia de un foton en la memoria. Luego, el foton se almacena en la memoria cuantica mientras se envia una senal clasica al nodo de Rydberg, que se utiliza como disparador para generar otro foton unico de una manera casi determinista. Finalmente, el primer foton se libera de la memoria cuantica en un momento preciso y los dos fotones se mezclan en un divisor de haz donde se produce una interferencia cuantica. La calidad de esta interferencia cuantica depende entonces de la indistinguibilidad entre los dos fotones.

Para lograr el hito conseguido, los investigadores tuvieron que desarrollar varias tecnicas nuevas. En primer lugar, adaptaron las formas de onda temporales de los fotones individuales emitidos para que coincidieran entre si, lo que ya es un resultado importante. Lo

lograron modulando los láseres utilizados para leer las excitaciones atómicas. Además, dado que estos nodos cuánticos operan de forma independiente, están sujetos a fluctuaciones experimentales no correlacionadas. Esto suele dar lugar a numerosos problemas, ya que puede hacer que los fotones sean distinguibles, interrumpiendo así la interferencia cuántica en unos pocos minutos. Esta cuestión es fundamental porque los nodos cuánticos necesitan mantener sus propiedades cuánticas durante periodos prolongados, que duran varios días. Para abordar esta limitación, los investigadores desarrollaron nuevas técnicas de estabilización. Midieron periódicamente las resonancias atómicas y ajustaron dinámicamente los experimentos en función de los resultados, **garantizando un rendimiento cuántico constante durante decenas de horas.**

Un paso más cerca del Internet cuántico

Este desafiante experimento proporciona un terreno fértil para observar efectos no lineales que habían sido predichos por la teoría, pero nunca confirmados experimentalmente. En general, este experimento demuestra que los sistemas atómicos fríos son candidatos prometedores para extender las redes cuánticas. Los investigadores ahora pretenden reutilizar las técnicas que han desarrollado y ampliar su configuración experimental para demostrar que es factible distribuir el entrelazamiento entre sistemas híbridos.

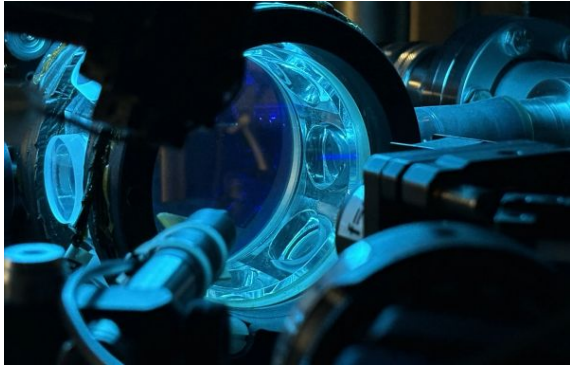
Según el Dr. Félix Hoffet, investigador del ICFO y primer autor del estudio: **¿Los átomos fríos son interesantes para este tipo de experimentos porque, a diferencia de otros sistemas, cada átomo es idéntico. Soy optimista en cuanto a que esta sutil distinción resultará beneficiosa a largo plazo para conectar procesadores cuánticos con repetidores cuánticos. Además, dado el rápido progreso en ambos campos de investigación, creo que ahora es importante cerrar la brecha entre estas diferentes plataformas y considerar ya una integración a mayor escala. Estoy muy contento de poder contribuir con las ideas iniciales a esta gran iniciativa¿?**

. Hugues de Riedmatten, profesor ICREA en ICFO, concluye **¿Es probable que las futuras redes cuánticas combinen diferentes nodos cuánticos hechos de diferentes sistemas físicos y con diferentes funcionalidades. Crear una interfaz que permita la distribución del entrelazamiento entre sistemas cuánticos dispares es un desafío excepcional. Nuestro trabajo es un paso en esta dirección, pero quedan muchos más desafíos por delante, el primero de los cuales será interconectar nodos cuánticos hechos de diferentes átomos¿?**

Acknowledgements:

This project received funding from the Government of Spain (PID2019-106850RB-I00 project funded by MCIN/AEI/10.13039/501100011033; Severo Ochoa CEX2019-000910-S), from MCIN with funding from the European Union NextGenerationEU (PRTR-C17.I1)- Pla Complementary to Quantum Communications., from the European Union Horizon 2020 research and innovation program under Grant Agreement No. 899275 (DAALI), from the Gordon and Betty Moore Foundation through Grant No. GBMF7446 to H.d.R, from Fundaci

Cellex, Fundacio Mir-Puig, and from Generalitat de Catalunya (CERCA, AGAUR). L.H. and J.L. acknowledge funding from the European Union Horizon 2020 research and innovation program under the Marie Skłodowska-Curie Grant Agreement No. 713729



Celda de vidrio en la configuración experimental.
©ICFO