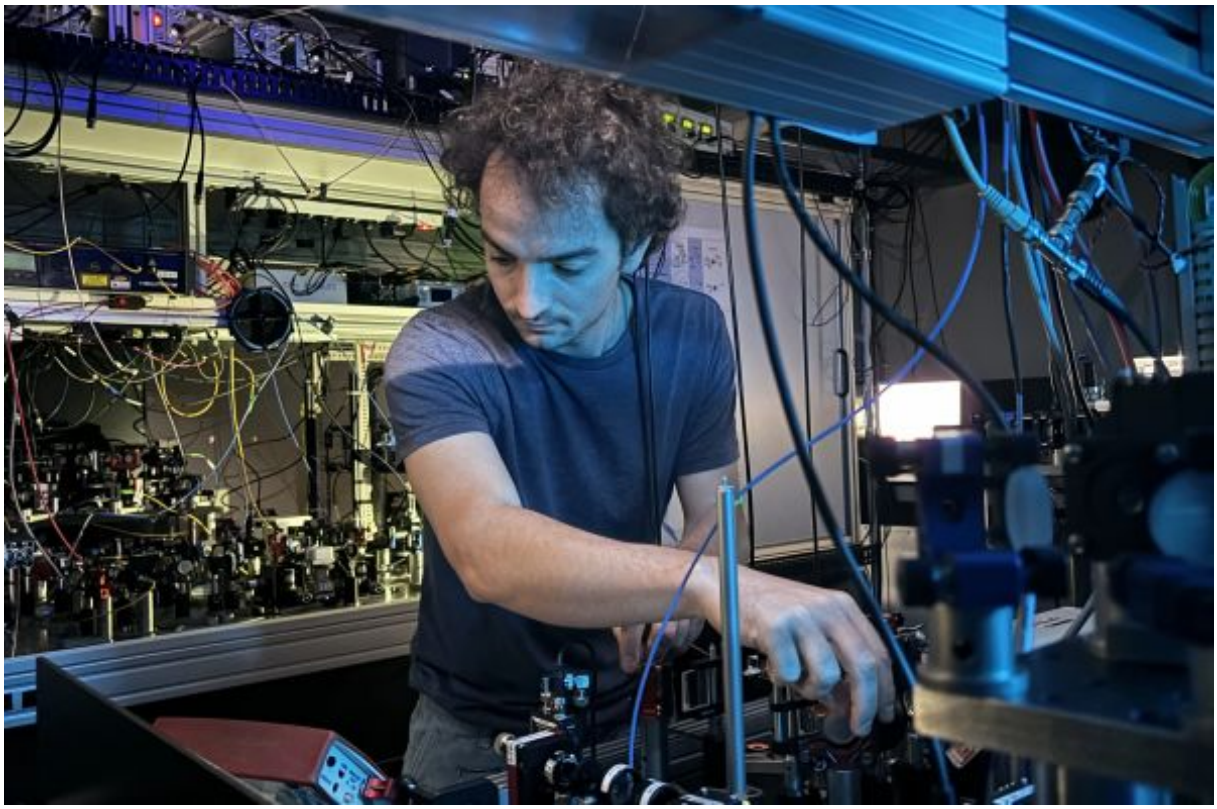


Fotones indistinguibles a partir de nodos cuanticos atomicos diferentes

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 Hoffet, 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

logroron modulando los laseres utilizados para leer las excitaciones atomicas.
Ademas, dado que estos nodos cuanticos operan de forma independiente, estan sujetos a fluctuaciones experimentales no correlacionadas. Esto suele dar lugar a numerosos problemas, ya que puede hacer que los fotones sean distinguibles, interrumpiendo asi la interferencia cuantica en unos pocos minutos. Esta cuestion es fundamental porque los nodos cuanticos necesitan mantener sus propiedades cuanticas durante periodos prolongados, que duran varios dias. Para abordar esta limitacion, los investigadores desarrollaron nuevas tecnicas de estabilizacion. Midieron periodicamente las resonancias atomicas y ajustaron dinamicamente los experimentos en funcion de los resultados, **garantizando un rendimiento cuantico constante durante decenas de horas**.

Un paso mas cerca del Internet cuantico

Este desafiante experimento proporciono un terreno fertil para observar efectos no lineales que habian sido predichos por la teoria, pero nunca confirmados experimentalmente. En general, este experimento demuestra que los sistemas atomicos frios son candidatos prometedores para extender las redes cuanticas. Los investigadores ahora pretenden reutilizar las tecnicas que han desarrollado y ampliar su configuracion experimental para demostrar que es factible distribuir el entrelazamiento entre sistemas hibridos.

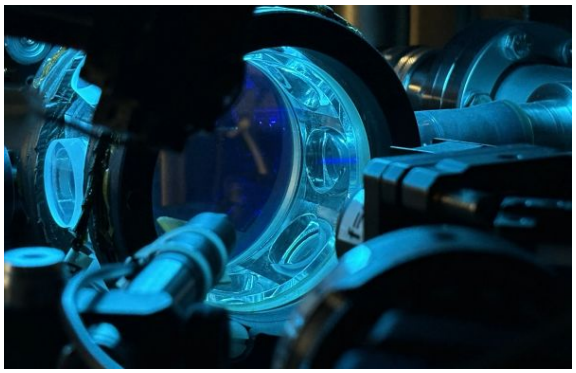
Segun el Dr. Felix Hoffet, investigador del ICFO y primer autor del estudio: i¿½**Los atomos frios son interesantes para este tipo de experimentos porque, a diferencia de otros sistemas, cada atomo es identico. Soy optimista en cuanto a que esta sutil distincion resultara beneficiosa a largo plazo para conectar procesadores cuanticos con repetidores cuanticos. Ademas, dado el rapido progreso en ambos campos de investigacion, creo que ahora es importante cerrar la brecha entre estas diferentes plataformas y considerar ya una integracion a mayor escala. Estoy muy contento de poder contribuir con las ideas iniciales a esta gran iniciativa**i¿?

. Hugues de Riedmatten, profesor ICREA en ICFO, concluye i¿½**Es probable que las futuras redes cuanticas combinen diferentes nodos cuanticos hechos de diferentes sistemas fisicos y con diferentes funcionalidades. Crear una interfaz que permita la distribucion del entrelazamiento entre sistemas cuanticos dispares es un desafio excepcional. Nuestro trabajo es un paso en esta direccion, pero quedan muchos mas desafios por delante, el primero de los cuales sera interconectar nodos cuanticos hechos de diferentes atomos**i¿?

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 202 research and innovation program under Grant Agreement No. 899275 (DAALI), from th 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 innovatio program under the Marie Sk?odowska-Curie Grant Agreement No. 713729



Celda de vidrio en la configuracion experimental. ©ICFO