

Fotons indistingibles a partir de nodes quants atomics diferents

Investigadors de l'ICFO obtenen un record mundial d'indistingibilitat entre dos fotons procedents de dos nodes quants diferents quan no es descarta cap deteccio. Aquests resultats aplanen el camí cap a futures xarxes quants heterogenies.

July 10, 2024

El desenvolupament de la internet quants es un esforç notable que s'està fent en paral·lel la cerca d'ordinadors quants pràctics. Aquesta xarxa quants té com a objectiu facilitar l'intercanvi de bits quants d'informació (anomenats qubits) entre processadors quants permetent nivells sense precedents de comunicació segura i potència computacional. Un objectiu clau d'una xarxa quants es crear un entrellacament remot entre dues unitats de processament distants, que després es poden utilitzar per a aplicacions específiques. Per aconseguir-ho, els investigadors estan explorant una nova tecnologia anomenada repetidor quants, que facilita la generació i transmissió d'entrellacament entre dues estacions intermèdies, conegudes com a nodes quants. No obstant això, els sistemes físics utilitzats

com a repetidors quantics poden diferir significativament dels utilitzats als ordinadors quantics. Per tant, es crucial desenvolupar una interfície entre aquestes diverses plataformes. La interfície entre aquests sistemes normalment implica enviar fotons individuals des de cadascun i fer-los interferir. La qualitat d'aquesta interferència quàntica determina l'eficàcia amb que es pot distribuir l'entrellacament per la xarxa. Assolir una interferència d'alta qualitat és un desafiament perquè els fotons han de ser indistingibles, i quan els nodes quàntics es basen en diferents tecnologies, fer que emetin fotons indistingibles és particularment difícil. Una solució comuna a aquest problema és seleccionar només una petita part dels fotons emesos, cosa que augmenta la indistingibilitat, però a costa d'una forta reducció en la taxa de detecció.

En aquest context, els investigadors de l'ICFO **Dr. Felix Hoffet, Dr. Jan Lowinski, Dr. Lukas Heller, Dr. Auxiliadora Padro-Brito**, dirigits pel **Prof. ICREA Hugues de Riedmatten**, han aconseguit produir fotons altament indistingibles a partir de nodes quàntics diferents sense descartar cap detecció, aconseguint un record mundial d'indistingibilitat en el camp de les xarxes quàntiques híbrides en aquestes condicions. Els resultats s'han publicat recentment a *Physical Review X Quantum*.

Com obtenir fotons indistingibles a partir de nodes quàntics

Per comprovar la indistingibilitat dels fotons emesos, l'equip primer va haver de recrear la unitat bàsica típica d'una xarxa quàntica: dos nodes quàntics amb diferents tecnologies. Si escau, els dos nodes es basaven en àtoms freds de Rubidi. Un d'ells es va basar en un conjunt de Rydberg fred completament bloquejat (de vegades anomenat superàtom de Rydberg). Aquest sistema permet capacitats de processament quàntic i, en aquest experiment, va generar fotons individuals sota demanda. L'altre era un node repetidor quàntic basat en una memòria quàntica emissora i que emetia fotons individuals anunciats.

Els investigadors van fer servir la memòria quàntica per sincronitzar l'emissió dels dos fotons. A la memòria emissora es fan diverses proves de generació fins que la detecció d'un foton anuncia la presència d'un foton a la memòria. Després, el foton s'emmagatzema a la memòria quàntica mentre s'envia un senyal clàssic al node de Rydberg, que s'utilitza com a disparador per generar un altre foton únic d'una manera gairebé determinista. Finalment, el primer foton s'allibera de la memòria quàntica en un moment precís i els dos fotons es barregen en un divisor de feix on es produeix una interferència quàntica. La qualitat d'aquesta interferència quàntica depèn alhora de la indistingibilitat entre els dos fotons.

Per aconseguir la fita aconseguida, els investigadors van haver de desenvolupar diverses tècniques noves. En primer lloc, van adaptar les formes d'ona temporals dels fotons individuals emesos perquè coincidissin entre si, cosa que ja és un resultat important. Ho van aconseguir modulant els lasers utilitzats per llegir les excitacions atòmiques.

A més, atès que aquests nodes quàntics operen de forma independent, estan subjectes a fluctuacions experimentals no correlacionades. Això sol donar lloc a nombrosos problemes, ja que pot fer que els fotons siguin distingibles, interrompent així la interferència quàntica en

uns pocs minuts. Aquesta qüestió és fonamental perquè els nodes quàntics necessiten mantenir les seves propietats quàntiques durant períodes perllongats, que duren diversos dies. Per abordar aquesta limitació, els investigadors van desenvolupar noves tècniques d'estabilització. Van mesurar periòdicament les ressonàncies atòmiques i van ajustar dinàmicament els experiments en funció dels resultats, **garantint un rendiment quàntic constant durant desenes d'hores.**

Un pas més a prop de l'Internet quàntic

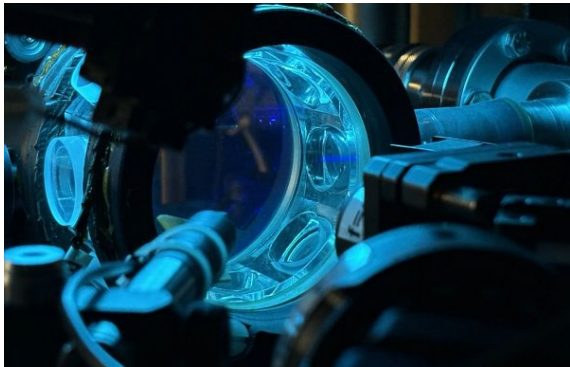
Aquest repte experimental va proporcionar un terreny fèrtil per observar efectes no lineals que havien estat predits per la teoria, però mai confirmats experimentalment. En general, aquest experiment demostra que els sistemes atòmics freds són candidats prometedors per poder estendre les xarxes quàntiques. Els investigadors ara pretenen reutilitzar les tècniques que han desenvolupat i ampliar-ne la configuració experimental per demostrar que és factible distribuir l'entrellacament entre sistemes híbrids.

Segons el Dr. Felix Hoffet, investigador de l'ICFO i primer autor de l'estudi: *«Els àtoms freds són interessants per a aquest tipus d'experiments perquè, a diferència d'altres sistemes, cada àtom és idèntic. Sóc optimista en quant a que aquesta subtil distinció resultarà beneficiosa a llarg termini per connectar processadors quàntics amb repetidors quàntics. A més, donat el ràpid progrés en tots dos camps de recerca, crec que ara és important tancar la bretxa entre aquestes diferents plataformes i considerar ja una integració a major escala. Estic molt content de poder contribuir amb les idees inicials a aquesta gran iniciativa?»*

«Hugues de Riedmatten, professor ICREA a ICFO, conclou: «És probable que les futures xarxes quàntiques combinin diferents nodes quàntics fets de diferents sistemes físics i amb diferents funcionalitats. Crear una interfície que permeti la distribució de l'entrellacament entre sistemes quàntics dispersos és un repte excepcional. La nostra feina és un pas en aquesta direcció, però queden molts més desafiaments per endavant, el primer dels quals serà interconnectar nodes quàntics fets de diferents àtoms»

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 Fundació Cellex, Fundació 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



Cel·lula de vidre a la configuracio experimental. © ICFO