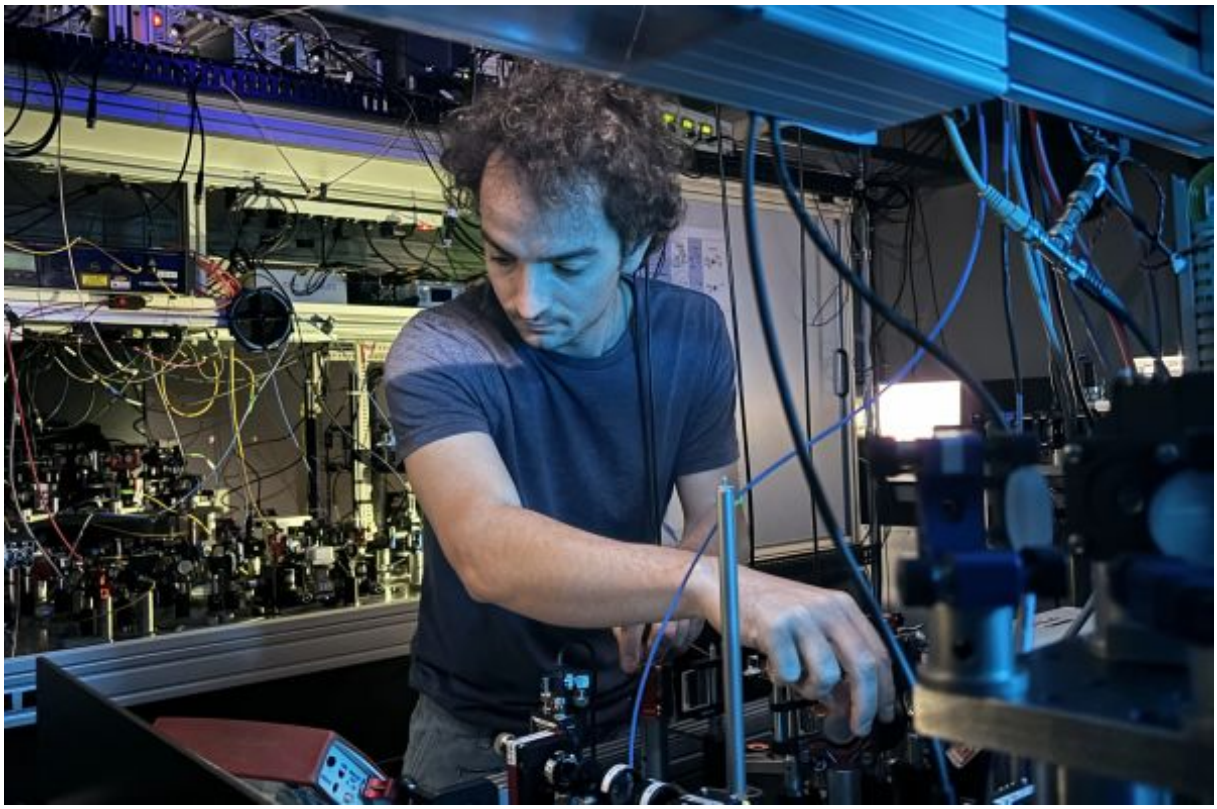


Fotons indistingibles a partir de nodes quantics atomics diferents

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

July 10, 2024

El desenvolupament de la internet quantica es un esforc notable que s'esta fent en paral·lel la cerca d'ordinadors quantics practics. Aquesta xarxa quantica te com a objectiu facilita l'intercanvi de bits quantics d'informacio (anomenats qubits) entre processadors quantics permetent nivells sense precedents de comunicacio segura i potencia computacional

Un objectiu clau d'una xarxa quantica es crear un entrellacament remot entre dues unitats d processament distants, que despres es poden utilitzar per a aplicacions especifiques. Pe aconseguir-ho, els investigadors estan explorant una nova tecnologia anomenada repetido quantic, que facilita la generacio i transmissio d'entrellacament entre dues estacion intermedies, conegudes com a nodes quantics. No obstant aixo, els sistemes fisics utilitzat

com a repetidors quantics poden diferir significativament dels utilitzats als ordinador quantics. Per tant, es crucial desenvolupar una interficie entre aquestes diverses plataformes La interficie entre aquests sistemes normalment implica enviar fotons individuals des d cadascun i fer-los interferir. La qualitat d'aquesta interferencia quantica determina l'eficaci amb que es pot distribuir l'entrellacament per la xarxa. Assolir una interferencia d'alta qualita es un desafiament perque els fotons han de ser indistingibles, i quan els nodes quantics e basen en diferents tecnologies, fer que emetin fotons indistingibles es particularment dificil Una solucio comuna a aquest problema es seleccionar nomes una petita part dels foton emesos, cosa que augmenta la indistingibilitat, pero a costa d'una forta reduccio en la tax de deteccio

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 quantics diferents sense descartar cap deteccio, aconseguint un record mundial d'indistingibilitat en el camp de les xarxes quantiques hibrides en aquestes condicions. Els resultats s'han publicat recentment a Physical Review X Quantum.

Com obtenir fotons indistingibles a partir de nodes quantics

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

Els investigadors van fer servir la memoria quantica per sincronitzar l'emissio dels dos fotons. A la memoria emissora es fan diverses proves de generacio fins que la deteccio d'un foto anuncia la presencia d'un foto a la memoria. Despres, el foto s'emmagatzema a la memoria quantica mentre s'envia un senyal classic al node de Rydberg, que s'utilitza com a disparador per generar un altre foto unic d'una manera gairebe determinista. Finalment, el primer foto s'allibera de la memoria quantica en un moment precis i els dos fotons es barregen en un divisor de feix on es produeix una interferencia quantica. La qualitat d'aquesta interferencia quantica depen aleshores de la indistingibilitat entre els dos fotons.

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

A mes, ates que aquests nodes quantics operen de forma independent, estan subjectes a fluctuacions experimentals no correlacionades. Aixo sol donar lloc a nombrosos problemes, ja que pot fer que els fotons siguin distingibles, interrompent aixi la interferencia quantica en

uns pocs minuts. Aquesta qüestio es fonamental perque els nodes quantics necessite mantenir les seves propietats quantiques durant periodes perllongats, que duren diverso dies. Per abordar aquesta limitacio, els investigadors van desenvolupar noves tecnique d'estabilitzacio. Van mesurar periodicament les ressonancies atomiques i van ajusta dinamicament els experiments en funcio dels resultats,**garantint un rendiment quantic constant durant desenes d'hores**.

Un pas mes a prop de l'Internet quantic

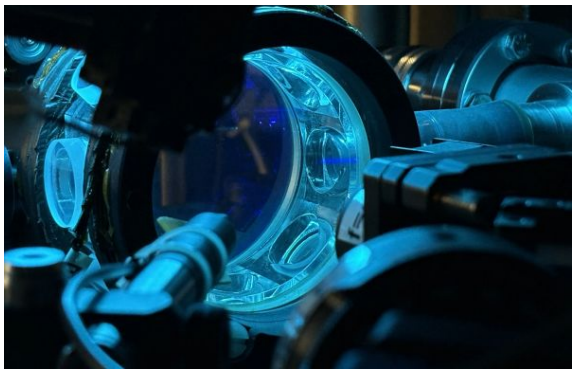
Aquest repte experimental va proporcionar un terreny fertil per observar efectes no lineals que havien estat predits per la teoria, pero mai confirmats experimentalment. En general, aquest experiment demostra que els sistemes atomics freds son candidats prometedors per poder estendre les xarxes quantiques. Els investigadors ara pretenen reutilitzar les tecniques que han desenvolupat i ampliar-ne la configuracio experimental per demostrar que es factible distribuir l'entrellacament entre sistemes hibrids.

Segons el Dr. Felix Hoffet, investigador de l'ICFO i primer autor de l'estudi: i¿½Els atoms fre s son interessants per a aquest tipus d'experiments perque, a diferencia d'altres sistemes, ca a atom es identic. Soc optimista en quant a que aquesta subtil distincio resultara beneficiosa a llarg termini per connectar processadors quantics amb repetidors quantics. A mes, donat l rapid progres en tots dos camps de recerca, crec que ara es important tancar la bretxa ent e aquestes diferents plataformes i considerar ja una integracio a major escala. Estic mo t content de poder contribuir amb les idees inicials a aquesta gran iniciativai?

½. Hugues de Riedmatten, professor ICREA a ICFO, conclou i¿½Es probable que les f tures xarxes quantiques combinin diferents nodes quantics fets de diferents sistemes fisics i amb diferents funcionalitats. Crear una interficie que permeti la distribucio de l'entrella ament entre sistemes quantics dispars es un repte excepcional. La nostra feina es un pas en a uesta direccio, pero queden molts mes desafiaments per endavant, el primer dels qual sera interconnectar nodes quantics fets de diferents ato

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



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