

## Propagacio segura d'entrellacament només prement un boto

Un equip de físics, dirigit per investigadors del MPQ, fa servir pinces òptiques en ressonadors òptics per crear entrellacaments en una xarxa quàntica.

July 12, 2024

L'entrellacament, "l'accio fantasmal a distància" d'Einstein, és avui en dia l'eina per a la ciència de la informació quàntica. És el recurs essencial per als ordinadors quàntics i per transmetre informació quàntica a una futura xarxa quàntica. Però aquesta eina és molt sensible, ja que és un enorme desafiament entrellacar bits quàntics en repos (qubits) amb qubits en vol en forma de fotons "amb només pressionar un boto". Ara, un equip dirigit per **Gerhard Rempe**, director de l'[Institut Max Planck d'Òptica Quàntica](#) a Garching, Alemanya, ha aconseguit fer exactament això amb àtoms connectats en paral·lel, intercalats entre dos miralls gairebé perfectes. Aquesta configuració garanteix una interacció fiable amb fotons en forma de qubits en vol, una tècnica de la qual va ser pioner Gerhard Rempe. Utilitzant pinces òptiques, l'equip va poder controlar individualment fins a sis àtoms i entrellacar cadascun amb un foto. Mitjançant una tècnica de multiplexació, els científics van demostrar l

generacio d'entrellacament atom-foto amb gairebe un 100% d'eficiencia, un exit innovado per distribuir l'entrellacament a traves d'una xarxa quantica. El treball es [publica avui a la revista Science](#).

Les interficies entre qubits en repos i qubits en moviment entren en joc sempre que cal transmetre informacio quantica a llargues distancies. "Un aspecte es la comunicacio d'informacio quantica a llargues distancies en un futur Internet quantic", explica **Emanuele Distant**e, que va supervisar l'experiment com a investigador postdoctoral i ara es investigador a l'ICFO: "El segon aspecte es l'objectiu de connectar molts qubits en una xarxa per crear un ordinador quantic mes poderos. Ambdues aplicacions requereixen interficies eficients entre qubits en repos i qubits en moviment. Aquesta es la rao per la qual molts grups a tot el mon estan investigant de manera accelerada interficies a escala quantica de per a la interaccio de materia llum".

S'estan aplicant diversos enfocaments tecnicos diferents. Gerhard Rempe i el seu equip de Garching fa molts anys que treballen en un metode que utilitza, com a ressonador optic, atoms de rubidi ultrafreds capturats i atrapats entre dos miralls gairebe perfectes. La meta se centra a construir un Internet quantic futur. Aquest enfocament te un avantatge inherent perque permet que un atom atrapat interactui d'una manera molt eficient amb un foto, que rebota entre els dos miralls unes vint mil vegades com una pilota de ping-pong. A mes, com que un dels dos miralls es lleugerament mes transparent que l'altre, el foto surt en una direccio exactament predeterminada. Això vol dir que no es perd, sino que es pot acoblar de manera fiable a una fibra optica. Si aquest foto s'entrellaca amb l'atom mitjancant un protocol especific de polsos de llum laser, aquest entrellacament es mante a mesura que el foto viatja.

### **Multiplexacio per evitar perdues de transmissio**

El 2012, l'equip de Garching va aconseguir entrellacar un atom en un ressonador amb un segon atom, en un altre ressonador, mitjancant una "radio de fotons" a traves d'una fibra de vidre de 60 metres de llargada. Amb l'ajuda del foto transmes, van formar un objecte quantic entrellacat estes a partir de tots dos atoms. Tot i això, el foto no s'ha de perdre en la fibra de vidre durant el cami, i aquest es precisament el problema amb viatges a llarga distancia. La solucio, almenys per a distancies mitges d'uns pocs quilometres, s'anomena multiplexacio o multiplexat. La multiplexacio es un metode estandard utilitzat en la tecnologia de la informacio classica per fer que la transmissio sigui mes robusta. Es com un enllac de radio a traves d'una area sorollosa: si envieu el senyal de radio a traves de diversos canals paral·lels augmenta la probabilitat que arribi al receptor a traves de com a minim un canal "Sense la multiplexacio ni tan sols el nostre Internet actual funcionaria", explica Distant, " Pero traslladar aquest metode als sistemes d'informacio quantics suposa un desafiament especial". La multiplexacio no només es interessant per a la transmissio segura a llarga distancia en el futur internet quantic, sino també per a una xarxa quantica local. Un exemple

es l'ordinador quantic distribuït, format per diversos processadors més petits connectats amb fibres òptiques curtes, on els qubits en repos s'entrellacarien de manera més fiable mitjançant la multiplexació amb qubits en moviment augmentant-ne la potència.

### **Pinces òptiques per manipular àtoms**

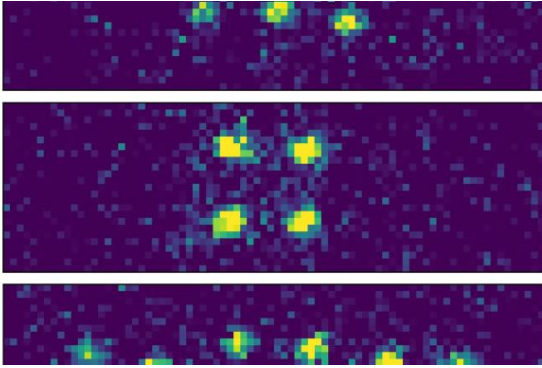
El repte per a l'equip de Garching va ser carregar diversos àtoms dins d'un ressonador com a qubits en repos i manipular-los individualment. Només si es coneix la posició dels àtoms es poden entrellacar en paral·lel, amb un foto cadascun, per assolir la multiplexació. Per tant l'equip va desenvolupar una tècnica per inserir pinces òptiques al ressonador estret. "Els miralls estan separats per només mig mil·límetre aproximadament", explica **Lukas Hartung**, estudiant de doctorat i primer autor de l'article.

Les pinces òptiques consisteixen en raigs laser primers, prou potents per a capturar un àtom en el seu focus i moure'l amb precisió fins a la posició desitjada. Fent servir fins a sis d'aquestes pinces, l'equip va poder organitzar una quantitat corresponent d'àtoms de rubí flotants a la cavitat per formar una xarxa ordenada de qubits. Atès que els àtoms poden romandre fàcilment al parany durant un minut (per a la física quàntica és una eternitat), podrien fàcilment entrellacar-se amb un foto cadascun. "Això funciona gairebé el cent per cent de les vegades", diu Distant, destacant l'avantatge clau d'aquesta tècnica: la distribució de l'entrellacament funciona gairebé "determinísticament", és a dir, només prement un boto.

### **Escalable a molts més qubits**

Per aconseguir-ho, l'equip va utilitzar un objectiu de lent de microscopi, col·locat amb precisió micromètrica damunt el ressonador, enfocant els feixos individuals de les pinces de llum a la cavitat estreta del mirall. Les pinces òptiques es generen mitjançant els anomenats deflectors acústico-òptics i, per tant, es poden controlar de manera individual. L'ajustament precís de les pinces òptiques requereix molta destresa. "Superar aquest repte va ser la pedra angular de l'èxit de l'experiment", resumeix **Stephan Welte**, que va participar en el desenvolupament de la tecnologia com a part de l'equip i ara és investigador a l'ETH Zurich. L'experiment actual obre el camí perquè el mètode pugui ampliar-se a molts més qubits sense tenir perdudes. L'equip estima que dins d'un ressonador d'aquest tipus podrien controlar-se fins a 200 àtoms, cosa que suposaria un gran pas endavant donat que aquests bits quàntics es poden controlar molt bé al ressonador. Fins i tot, com que la interfície alimenta el cent per cent dels fotons entrellacats a la fibra òptica, és plausible imaginar una xarxa de molts ressonadors, cadascun amb 200 àtoms com a qubits en repos, el que voldria dir aconseguir un poderós ordinador quàntic. Tot i que per ara aquest ordinador continua sent un somni de futur, amb les pinces òptiques l'equip de Garching té sota control una part significativa d'aquest futur.

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



Els científics han pogut manipular fins a sis atòms de rubidi com a bits quàntics al ressonador òptic amb les pinces de llum. Per fer-los visibles, els atòms s'exciten perquè emetin llum. En teoria, el ressonador pot albergar fins a 200 atòms - bits quàntic