Image not found

Propagacio segura d'entrellacament nomes prement un boto

Un equip de fisics, dirigit per investigadors del MPQ, fa servir pinces optiques en ressonadors optics per crear entrellacaments en una xarxa quantica.

July 12, 2024

L'entrellacament, "l'accio fantasmal a distancia" d'Einstein, es avui en dia l'eina per a la ciencia de la informacio quantica. Es el recurs essencial per als ordinadors quantics i per transmetre informacio quantica a una futura xarxa quantica. Pero aquesta eina es molt sensible, ja que es un enorme desafiament entrellacar bits quantics en repos (qubits) amb qubits en vol en forma de fotons "amb nomes pressionar un boto". Ara, un equip dirigit per **Gerhard Rempe**, director de l'**Institut Max Planck d'Optica Quantica** a Garching, Alemanya, ha aconseguit fer exactament aixo amb atoms connectats en paral·lel, intercalats entre do miralls gairebe perfectes. Aquesta configuracio garanteix una interaccio fiable amb fotons e forma de qubits en vol, una tecnica de la qual va ser pioner Gerhard Rempe. Utilitzant pince optiques, l'equip va poder controlar individualment fins a sis atoms i entrellacar cadascu amb un foto. Mitjancant una tecnica de multiplexacio, els cientifics 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 espublica 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 Distante**, 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 tecnics 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. Aixo 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 aixo, 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 Distante, " Pero traslladar aquest metode als sistemes d'informacio quantics suposa un desafiament especial". La multiplexacio no nomes es interessant per a la transmissio segura a llarga distancia en el futur internet quantic, sino tambe per a una xarxa quantica local. Un exemple es l'ordinador quantic distribuit, format per diversos processadors mes petits connectats amb fibres optiques curtes, on els qubits en repos s'entrellacarien de manera mes fiable mitjancant la multiplexacio amb qubits en moviment augmentant-ne la potencia.

Pinces optiques per manipular atoms

El repte per a l'equip de Garching va ser carregar diversos atoms dins d'un ressonador com a qubits en repos i manipular-los individualment. Nomes si es coneix la posicio dels atoms es poden entrellacar en paral·lel, amb un foto cadascun, per assolir la multiplexacio. Per tant l'equip va desenvolupar una tecnica per inserir pinces optiques al ressonador estret. 'Els miralls estan separats per nomes mig mil·limetre aproximadament", explica **Lukas Hartung**, estudiant de doctorat i primer autor de l'article.
Les pinces optiques consisteixen en raigs laser prims, prou potents per a capturar un atom en el seu focus i moure'l amb precisio fins a la posicio desitjada. Fent servir fins a sis d'aquestes pinces, l'equip va poder organitzar una quantitat corresponent d'atoms de rubidi flotants a la cavitat per formar una xarxa ordenada de qubits. Ates que els atoms poden romandre facilment al parany durant un minut (per a la fisica quantica es una eternitat),

podrien facilment entrellacar-se amb un foto cadascun. "Aixo funciona gairebe el cent per cent de les vegades", diu Distante, destacant l'avantatge clau d'aquesta tecnica: la distribucio de l'entrellacament funciona gairebe "deterministicament", es a dir, nomes prement un boto.

Escalable a molts mes qubits

Per aconseguir-ho, l'equip va utilitzar un objectiu de lent de microscopi, col·locat am precisio micrometrica damunt el ressonador, enfocant els feixos individuals de les pinces d llum a la cavitat estreta del mirall. Les pinces optiques es generen mitjancant els anomenat deflectors acustics-optics i, per tant, es poden controlar de manera individual. L'ajustamen precis de les pinces optiques requereix molta destresa. "Superar aquest repte va ser la pedra angular de l'exit de l'experiment", resumeix **Stephan Welte**, que va participar en el desenvolupament de la tecnologia com a part de l'equip i ara es investigador a l'ETH Zurich. L'experiment actual obre el cami perque el metode pugui ampliar-se a molts mes qubits sense tenir perdues. L'equip estima que dins d'un ressonador d'aquest tipus podrien controlar-se fins a 200 atoms, cosa que suposaria un gran pas endavant donat que aquests bits quantics es poden controlar molt be al ressonador. Fins i tot, com que la interficie alimenta el cent per cent dels fotons entrellacats a la fibra optica, es plausible imaginar una xarxa de molts ressonadors, cadascun amb 200 atoms com a qubits en repos, el que voldria dir aconseguir un poderos ordinador quantic. Tot i que per ara aquest ordinador continua sent un somni de futur, amb les pinces optiques l'equip de Garching te 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

Image not found

Els cientifics han pogut manipular fins a sis atoms de rubidi com a bits quantics al ressonador optic amb les pinces de llum. Per fer-los visibles, els atoms s'exciten perque emetin llum. En teoria, el ressonador pot albergar fins a 200 atoms - bits quant