

Image not found

# Primers passos cap a la realització de qubits mecànics

**Un equip internacional d'investigadors obte els primers resultats experimentals que validen els primers passos cap a la realització d'un qubit mecànic, utilitzant un ressonador mecànic acoblat a un transistor d'un sol electro.**

June 08, 2023

La informació quàntica (QI) i el seu processament poden ser un punt d'inflexió tecnològic en un futur proper, ja que proporcionen capacitats computacionals, seguretat i sensibilitats en sistemes de detecció sense precedents. El qubit, unitat bàsica de hardware, és el component bàsic dels ordinadors quàntics i el processament de la informació quàntica, però, encara avui dia, hi ha molt de debat sobre quins tipus de qubits són realment els idonis per a aquesta tasca.

La recerca i el desenvolupament que s'estan realitzant en aquest camp estan creixent a passos de gegant i tenen com a objectiu dilucidar quin sistema o plataforma podria superar a la resta. Per esmentar-ne algunes, plataformes tan diverses com aquelles fetes amb materials superconductors amb unions de Josephson, ions atrapats, qubits topològics, àtoms neutres ultra-freds o fins i tot diamants amb vacants o buits en la seva estructura, constitueixen el catàleg de possibles candidats per fer qubits. Fins ara, només un grup de plataformes han demostrat tenir potencial per a la computació quàntica, complint tots els ítems del llistat de control pel que fa a portes (gates) controlades d'alta fidelitat, un acoblament fàcil de sistemes qubit-qubit i un bon aïllament de l'entorn, que signifiqui temps suficientment perllongats d'estats de coherència.

Els ressonadors nano-mecànics són oscil·ladors mecànics, com els ressorts i les cordes (per exemple, les cordes de la guitarra) que, quan se'ls pertorba, creen sons harmònics inharmonics segons la força de la pertorbació. Ara bé, s'ha vist que aquests nano-ressonadors podrien ser part del selecte grup de plataformes per a qubits si es refreden prou com per arribar a una temperatura el més a prop possible del zero absolut. Però, que passaria quan refredem un nano-ressonador fins al zero absolut? Els nivells d'energia de l'oscil·lador es quantifiquen i el ressonador vibra amb el moviment característic del punt-zero que sorgeix del principi d'incertesa de Heisenberg. En altres paraules, un ressonador es manté en moviment fins i tot quan es a l'estat fonamental d'energia. En aquest moment, la realització o fabricació d'un qubit mecànic és possible si els nivells d'energia quantificats del ressonador

r no estan espaiats uniformement. Es a dir, el desafiament es mantenir efectes no lineals pr u grans en el regim quantic, on el desplaçament del punt-zero de l'oscil·lador es minúscul. Si això s'aconsegueix, llavors el sistema es pot utilitzar com a qubit, manipulant-lo entre els os nivells quantics mes baixos d'energia sense conduir-lo a estats d'energia mes al s. Durant molts anys hi ha hagut un gran interes en fabricar un sistema qubit amb un ressonador nanomecanic. A l'any 2014 **Fabio Pistolesi** (Univ. Bordeaux-CNRS), **Andrew N. Cleland** (Univ. Chicago) i el **Prof de l'ICFO Adrian Bachtold**, van establir un **concepte teoric d'un qubit mecanic**, basat en un ressonador de nanotubs acoblat a un doble punt quantic sota un regim d'acoblament ultrafort. Aquests resultats teorics van demostrar que aquests ressonadors nanomecànics podrien convertir-se en candidats ideals per a qubits, ja que van demostrar tenir llargs temps de coherencia, un "si o si" definitiu per a la computacio quantica.

Havent establert un marc teoric amb el qual es podia treballar, ara el repte era fabricar un qubit a partir d'un ressonador mecanic i trobar les condicions i els parametres apropiats per controlar les no-linealitats en el sistema.

Despres d'anys de treballs intensos amb aquests sistemes, els reptes de fer-los a nivell experimental han donat els primers fruits. En un estudi recent publicat a Nature Physics, els investigadors de l'ICFO **Chandan Samanta**, **Sergi Lucio de Bonis**, **Christoffer Moller**, **Roger Tormo-Queralt**, **W. Yang** i **Carles Urgell**, dirigits pel Prof. de l'ICFO **Adrian Bachtold**, en col·laboracio amb els investigadors **B. Stamenic** i **B. Thibeault** de la Universitat de California Santa Barbara, **I. Jin** de la Universite Paris-Saclay-CNRS, **D.A. Czaplewski** del Laboratori Nacional d'Argonne i **F. Pistolesi** de la Univ. Bordeaux-CNRS, han aconseguit els primers passos preexperimentals per a la futura realitzacio d'un qubit mecanic en demostrar un nou mecanisme per augmentar la inharmonia d'un oscil·lador mecanic en el seu regim quantic

**L'experiment: inharmonia d'enginyeria a prop de l'estat fonamental**

L'equip d'investigadors va fabricar un dispositiu de nanotubs d'aproximadament 1,4 micrometres de longitud, suspes amb els extrems enganxats a les vores de dos electrodes. Seguidament van definir un punt quantic, un sistema electronic de dos nivells al nanotub vibrant, mitjancant la creacio electrostatica d'unions de tunel als dos extrems del nanotub suspes. Despres, en ajustar el voltatge a l'electrode de la porta d'entrada, van permetre el flux **d'un sol electro alhora al nanotub**. El moviment mecanic del nanotub es va acoblar a l'electronic en un regim conegut com a  $\frac{1}{2}$ efecte tunel d'un sol electro i  $\frac{1}{2}$ . Aq est acoblament electromecanic va crear la inharmonia buscada al sistema mecanic. Despres, van anar reduint la temperatura fins arribar als milikelvins, gairebe el zero absolut, fent entra el sistema en **regim d'acoblament ultrafort** en que cada electro adicional al nanotub aconseguia desplaçar la posicio d'equilibri del nanotub lluny de la seva amplitud del punt-zero. Amb una amplitud de nomes un factor de 13 sobre el moviment del punt-zero, van poder notar aquestes vibracions no lineals. Els resultats son sorprenents porque les vibracions presents en altres ressonadors, refredats fins a l'estat fonamental quantic, van

demostrar ser no lineals en amplituds aproximadament  $10^6$  o  $1.000.000$  de vegades mes grans respecte al seu moviment de punt-zero.

Aquest nou mecanisme mostra una fisica notable perque, al contrari del que s'esperava, l inharmonia augmenta a mesura que les vibracions es refreden mes a prop de l'estat fonamental. Això es justament el contrari del que s'havia observat fins ara en tots els altres sistemes de ressonadors mecanics. Com comenta el primer autor de l'estudi Chanda Samanta, quan els investigadors van començar a estudiar els ressonadors nanomecànics, una pregunta recurrent era si seria possible assolir efectes no lineals en les vibracions que es troben a l'estat fonamental quantic. Alguns investigadors líders al camp van argumentar que això seria un repte considerable a causa de les limitacions tecnològiques, i aquesta creença s'ha mantingut com el paradigma acceptat fins ara. En aquest context, el nostre treball representa un avenç conceptual molt significatiu perque demostrarem que les vibracions no lineals en el regim quantic son assolibles. Estem segurs que els efectes no lineals es podran haver millorat encara mes en acostar-nos a l'estat fonamental quantic, pero estavem limitats per la temperatura del nostre criostat actual. La nostra feina ha demostrat proporcionar un full de ruta per aconseguir les vibracions no lineals en el regim quantic. Al contrari del que s'ha observat fins ara en altres ressonadors mecanics, l'equip d'investigadors va trobar un metode per augmentar la inharmonia d'un oscil·lador mecànic a prop del regim quantic. Els resultats d'aquest estudi estableixen els primers passos cap al desenvolupament futur de qubits mecanics o fins i tot simuladors quàntics. Com conclou Adrian Bachtold: "Es notable que entrem en un regim d'acoblament ultrafort i observem una forta inharmonia al ressonador. Pero la taxa d'esmortiment es torna gran a baixes temperatures a causa de l'acoblament del ressonador a un punt quantic. Els futurs experiments que involucrin a estats catió i qubits mecanics, sera avantatjós acoblar vibracions de nanotubs a un punt quantic doble, ja que permet fortes no linealitats juntament amb estats mecanics de llarga durada. L'amortiment que sorgeix de l'electro al punt quantic doble se suprimeix exponencialment a baixa temperatura, per la qual cosa hauria de ser possible aconseguir una taxa d'amortiment de 10 Hz mesura a en nanotubs a baixa temperatura".

Image not found

D'esquerra a dreta: El Prof. de l'ICFO i líder del grup Adrian Bachtold, Christoffer Moller, Chandan Samanta, Sergi Lucio de Bonis i Roger Tormo-Queralt en un dels laboratoris del grup a l'ICFO.