

## 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 grapat 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 passa 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 no estan espaiats uniformement. És a dir, el desafiament és mantenir efectes no lineals prou grans en el règim quàntic, on el desplaçament del punt-zero de l'oscil·lador és minúscul. Si això s'aconsegueix, llavors el sistema es pot utilitzar com a qubit, manipulant-lo entre els dos nivells quàntics més baixos d'energia sense conduir-lo a estats d'energia més alts. Durant molts anys hi ha hagut un gran interès en fabricar un sistema qubit amb un ressonador nanomecànic. 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 teòric d'un qubit mecànic**, basat en un ressonador de nanotubs acoblat a un doble punt quàntic sota un règim d'acoblament ultrafort. Aquests resultats teòrics van demostrar que aquests ressonadors nanomecànics podrien convertir-se en candidats ideals per a qubits, ja que van demostrar tenir llargs temps de coherència, un "sí o no" definitiu per a la computació quàntica.

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

Després 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·laboració amb els investigadors **B. Stamenic** i **B. Thibeault** de la Universitat de Califòrnia Santa Barbara, **I. Jin** de la Universitat 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 realització d'un qubit mecànic en demostrar un nou

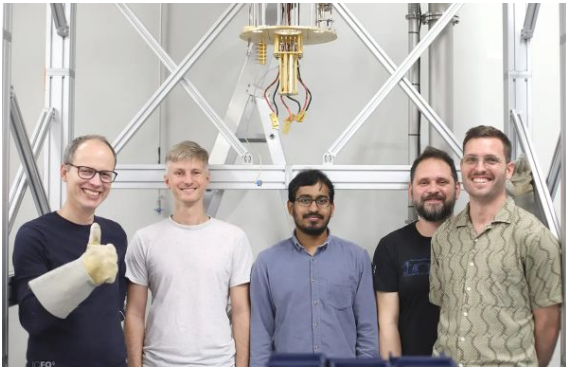
mecanisme per augmentar la inharmonia d'un oscil·lador mecànic en el seu regim quàntic

### **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, suspès amb els extrems enganxats a les vores de dos electrodes. Seguidament van definir un punt quàntic, un sistema electrònic de dos nivells al nanotub vibrant, mitjançant la creació electrostàtica d'unions de túnel als dos extrems del nanotub suspès. Després, 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 mecànic del nanotub es va acoblar a l'electro únic en un regim conegut com a *efecte túnel d'un sol electro*. Aquest acoblament electromecànic va crear la inharmonia buscada al sistema mecànic. Després, van anar reduint la temperatura fins arribar als milikelvins, gairebé el zero absolut, fent entrar el sistema en **regim d'acoblament ultrafort** en què cada electrode addicional al nanotub aconseguia desplaçar la posició d'equilibri del nanotub lluny de la seva amplitud del punt-zero. Amb una amplitud de només un factor de 13 sobre el moviment del punt-zero, van poder notar aquestes vibracions no lineals. Els resultats són sorprenents perquè les vibracions presents en altres ressonadors, refredats fins a l'estat fonamental quàntic, van demostrar ser no lineals en amplituds aproximadament 10<sup>6</sup> o 1.000.000 de vegades més grans respecte al seu moviment de punt-zero.

Aquest nou mecanisme mostra una física notable perquè, al contrari del que s'esperava, l'inharmonia augmenta a mesura que les vibracions es refreden més a prop de l'estat fonamental. Això és justament el contrari del que s'havia observat fins ara en tots els altres sistemes de ressonadors mecànics. 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 quàntic. 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 perquè demostrarem que les vibracions no lineals en el regim quàntic són assolibles. Estem segurs que els efectes no lineals es podran haver millorat encara més en acostar-nos a l'estat fonamental quàntic, però 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 quàntic*. Al contrari del que s'ha observat fins ara en altres ressonadors mecànics, l'equip d'investigadors va trobar un mètode per augmentar la inharmonia d'un oscil·lador mecànic a prop del regim quàntic. Els resultats d'aquest estudi estableixen els primers passos cap al desenvolupament futur de qubits mecànics 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. Però la taxa d'esmoreïment es torna gran a baixes temperatures a causa de l'acoblament del ressonador a un punt quàntic. E*

futurs experiments que involucrin a  $i\frac{1}{2}$  estats cati  $i\frac{1}{2}$  i  $i\frac{1}{2}$  qubits mecànics  $i\frac{1}{2}$ ,  
sera avantatjos acoblar vibracions de nanotubs a un punt quantic doble, ja que permet forte  
no linealitats juntament amb estats mecànics de llarga durada. L'amortiment que sorgeix  
de l'electro al punt quantic doble se suprimeix exponencialment a baixa temperatura,  
er la qual cosa hauria de ser possible aconseguir una taxa d'amortiment de 10 Hz mesura  
a en nanotubs a baixa temperatura  $i\frac{1}{2}$ .



D'esquerra a dreta: El Prof. de l'ICFO i lider 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.