Image not found

# Primers passos cap a la realitzacio de qubits mecanics

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

June 08, 2023

La informacio quantica (QI) i el seu processament poden ser un punt d'inflexio tecnologic en un futur proper, ja que proporcionen capacitats computacionals, seguretat i sensibilitats en sistemes de deteccio sense precedents. El qubit, unitat basica de hardware, es el component basic dels ordinadors quantics i el processament de la informacio quantica, pero, encara avui dia, hi ha molt de debat sobre quins tipus de qubits son 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 topologics, atoms neutres ultra-freds o fins i tot diamants amb vacants o buits en la seva estructura, constitueixen el cataleg de possibles candidats per fer qubits. Fins ara, nomes un grapat de plataformes han demostrat tenir potencial per a la computacio quantica, complint tots els items del llistat de control pel que fa a portes(gates) controlades d'alta fidelitat, un acoblament facil de sistemes qubit-qubit i un bon aillament de l'entorn, que signifiqui temps suficientment perllongats d'estats de coherencia.

Els ressonadors nano-mecanics son oscil·ladors mecanics, com els ressorts i les cordes (pe exemple, les cordes de la guitarra) que, quan se'ls pertorba, creen sons harmonics inharmonics segons la forca de la pertorbacio. Ara be, s'ha vist que aquests nan ressonadors podrien ser part del selecte grup de plataformes per a qubits si es refreden pro com per arribar a una temperatura el mes a prop possible del zero absolut. Pero, que pass quan refredem un nano ressonador fins al zero absolut? Els nivells d'energia de l'oscil·lad r es quantifiquen i el ressonador vibra amb el moviment caracteristic del punt-zero que sorge x del principi d'incertesa de Heisenberg. En altres paraules, un ressonador es mante n moviment fins i tot quan es a l'estat fonamental d'energia. En aquest moment, la realitzacio o fabricacio d'un qubit mecanic es possible si els nivells d'energia quantificats del ressonad

r no estan espaiats uniformement. Es a dir, el desafiament es mantenir efectes no lineals pr u grans en el regim quantic, on el desplacament del punt-zero de l'oscil·lador es minuscul. Si aixo 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 2021, **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 nanomecanics 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'electro unic en un regim conegut com a i¿½efecte tunel d'un sol electroi¿½. 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 un **regim d'acoblament ultrafort** en que cada electro addicional al nanotub aconseguia desplacar 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 perque les vibracions presents en altres ressonadors, refredats fins a l'estat fonamental quantic, van

demostrar ser no lineals en amplituds aproximadament 106 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'esta fonamental. Aixo es justament el contrari del que s'havia observat fins ara en tots els altre sistemes de ressonadors mecanics. Com comenta el primer autor de l'estudi Chanda Samanta, i¿½quan els investigadors van comencar a estudiar els ressonadors nanomecani s, una pregunta recurrent era si seria possible assolir efectes no lineals en les vibracions que es troben a l'estat fonamental quantic. Alguns investigadors liders al camp van argumentar ue aixo seria un repte considerable a causa de les limitacions tecnologiques, i aquesta cree ca s'ha mantingut com el paradigma acceptat fins ara. En aquest context, el nostre treb ll representa un avenc conceptual molt significatiu perque demostrem que les vibracions no lineals en el regim quantic son assolibles. Estem segurs que els efectes no lineals es podr en haver millorat encara mes en acostar-nos a l'estat fonamental quantic, pero estavem limit ts 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 quantici ?½. Al contrari del que s'ha observat fins ara en altres ressonadors mecanics, l' quip d'investigadors va trobar un metode per augmentar la inharmonia d'un oscil·lador mec nic a prop del regim quantic. Els resultats d'aquest estudi estableixen els primers passos ap al desenvolupament futur de qubits mecanics o fins i tot simuladors qua tics. Com conclou Adrian Bachtold: i¿½Es notable que entrem en un regim d'acoblament ult afort i observem una forta inharmonia al ressonador. Pero la taxa d'esmorteiment es torn gran a baixes temperatures a causa de l'acoblament del ressonador a un punt quantic. E futurs experiments que involucrin a i¿½estats cati¿½ i i¿½qubits mecanicsi¿½, sera avantatjos acoblar vibracions de nanotubs a un punt quantic doble, ja que permet forte 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, er la qual cosa hauria de ser possible aconseguir una taxa d'amortiment de 10 Hz mesura a en nanotubs a baixa temperaturai¿½.

Image not found

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.