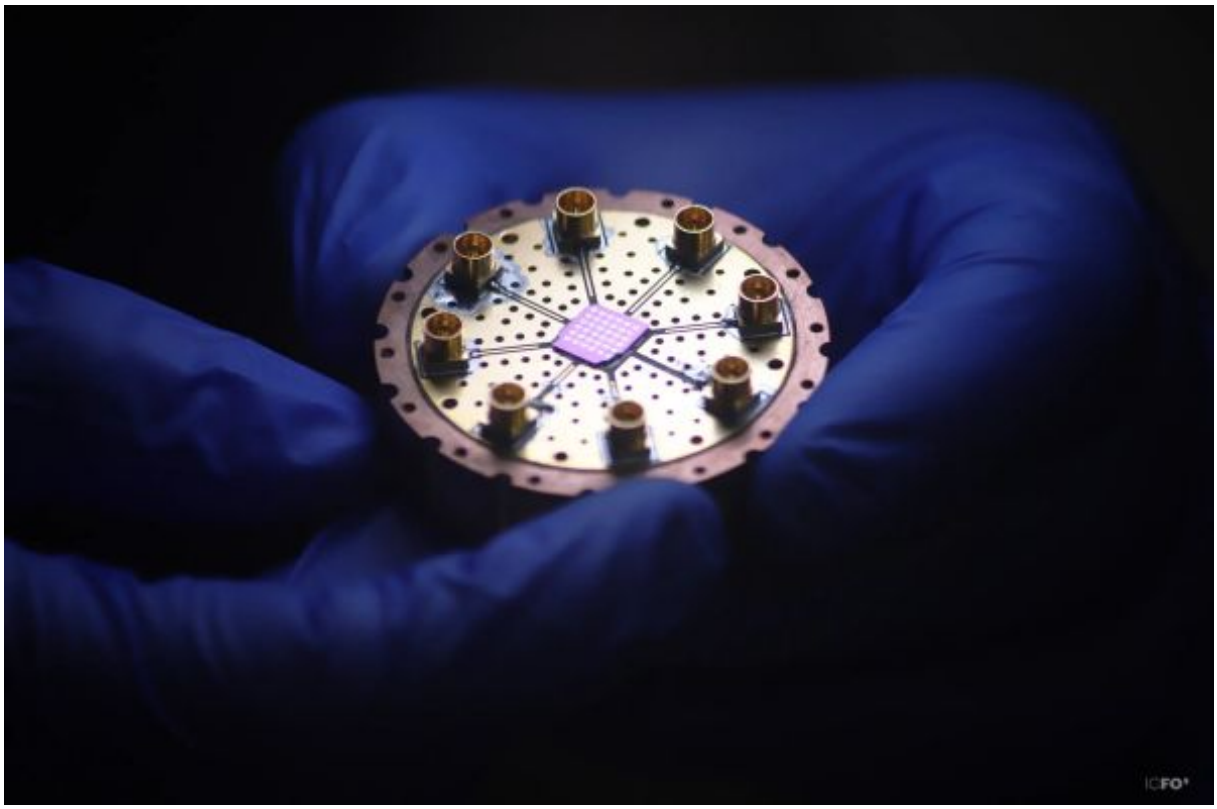


Primeros pasos hacia la realizacion de qubits mecanicos

Un equipo internacional de investigadores obtiene resultados experimentales que validan los primeros pasos hacia la realizacion de un qubit mecanico, utilizando un resonador mecanico acoplado a un transistor de un solo electron.

June 08, 2023

La informacion cuantica (QI) y su procesamiento podrian ser el proximo punto de inflexion tecnologico del futuro, al proporcionar capacidades computacionales, seguridad y sensibilidades de deteccion sin precedentes. El qubit, unidad basica de hardware, es el componente basico de los ordenadores cuanticos y el procesamiento de la informacion cuantica. Sin embargo, a dia de hoy, todavia existe mucho debate sobre que tipos de qubits son realmente los idoneos y mejores para tal tarea.

La investigacion y el desarrollo en este campo crecen a pasos agigantados, y tienen como objetivo dilucidar que sistema o plataforma podria superar al resto. Por mencionar algunas, plataformas tan diversas como aquellas hechas con materiales superconductores con uniones de Josephson, iones atrapados, qubits topologicos, atomos neutros ultrafrios o

incluso diamantes con vacantes o vacios en su estructura, constituyen el catalogo de posibles candidatos para hacer qubits. Hasta ahora, solo un punado de plataformas han demostrado tener potencial para la computacion cuantica, cumpliendo todos los requisitos del listado de control en lo que se refiere a puertas o i¿½gatesi¿½ controlados de lta fidelidad, facil acoplamiento de sistemas qubit-qubit y buen aislamiento del entorno, lo que permita estados de coherencia suficientemente prolongados en el tie po. Los resonadores nano-mecanicos son osciladores mecanicos, como los resortes y las cuerdas (por ejemplo, las cuerdas de guitarra) que, cuando se les perturba, crean son dos armonicos o inarmonicos segun la fuerza de la perturbacion. Se ha visto que estos ano resonadores podrian ser parte del selecto grupo de plataformas para qubitscuando se en ria el resonador hasta llegar a una temperatura lo mas cerca del cero absoluto. Pero, ?que sucede cuando enfriamos un nano resonador hasta el cero absoluto? Los niveles de en rgia del oscilador se cuantifican y el resonador vibra con su movimiento caracteristic del punto-cero. El movimiento del punto-cero surge del principio de incertidumb e de Heisenberg. En otras palabras, un resonador se mantiene en movimiento incluso cuando esta en el estado fundamental de energia. En este momento, la realizacion o fabricacion e un qubit mecanico es posible si los niveles de energia cuantificados del resonador no stan espaciados uniformemente. Es decir, el desafio es mantener los efectos no lineal s lo suficientemente grandes en el regimen cuantico, donde el desplazamiento del punto cero del oscilador es minusculo. Si esto se logra, entonces el sistema puede usarse como ubit manipulandolo entre los dos niveles cuanticos mas bajos sin conducirlo a estados de en rgia mas a
tos. Durante muchos anos, ha habido mucho interes en fabricar un sistema qubit c n un resonador nanomecanico. En 2021, Fabio Pistolesi (Univ. Bordeaux-CNRS), Andrew N. Cl land (Univ. Chicago) y el Prof. de ICFO Adrian Bachtold, establecieron un solido **concepto teorico de un qubit mecanico**, basado en un resonador de nanotubos acoplado a un doble punto cuantico bajo un regimen de acoplamiento ultra-fuerte. Estos resultados teoricos demostraron que estos resonadores nanomecanicos podrian convertirse en candidatos ideales para qubits, ya que tenian largos tiempos de coherencia, un "si o si" definitivo para la computacion cuantica.

Habiendo establecido un marco teorico con el cual trabajar, ahora el desafio era fabricar un qubit a partir de un resonador mecanico y encontrar las condiciones y los parametros apropiados para controlar las no linealidades en el sistema.

Despues de varios anos de trabajo exhaustivo con estos sistemas, los desafios de realizarlos experimentalmente han dado su primera luz verde. En un estudio reciente publicado en Nature Physics, los investigadores del ICFO **Chandan Samanta, Sergio Lucio de Bonis, Christoffer Moller, Roger Tormo-Queralt, W. Yang, Carles Urgell,** dirigidos por el **Prof. del ICFO Adrian Bachtold**, en colaboracion con los investigadores B. Stamenic y B.Thibeault de la Universidad de California Santa Barbara, Y. Jin de la Universite Paris-Saclay-CNRS, D.A.

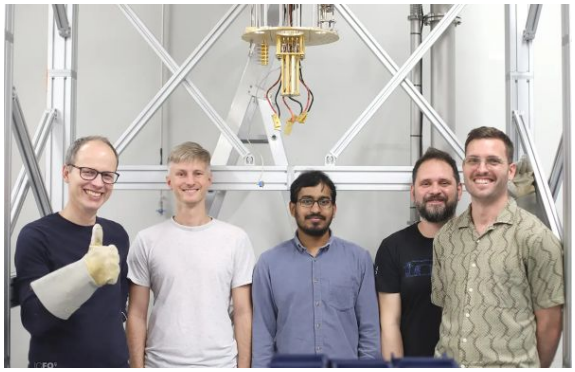
Czaplewski del Laboratorio Nacional de Argonne y F. Pistolesi de la Univ. Bordeaux-CNRS han logrado los primeros pasos pre-experimentales para la futura realizacion de un qubit mecanico al demostrar un nuevo mecanismo para aumentar la inarmonia de un oscilador mecanico en su regimen cuantico.

El experimento: inarmonia de ingenieria cerca del estado fundamental

El equipo de investigadores fabrico un dispositivo de nanotubos de aproximadamente 1,4 micrometros de longitud, suspendido con sus extremos enganchados en los bordes de dos electrodos. Seguidamente, definieron un punto cuantico, un sistema electronico de dos niveles en el nanotubo vibrante, mediante la creacion electrostatica de uniones de tunel en ambos extremos del nanotubo suspendido. Luego, al ajustar el voltaje en el electrodo de la puerta de entrada, permitieron el flujo de **un solo electron** a la vez en el nanotubo. El movimiento mecanico del nanotubo se acoplo al electron unico en un regimen conocido como i¿½efecto tunel de un solo electroni¿½. Este acoplamiento electromecanico cre la inarmonia buscada en el sistema mecanico. Luego, fueron reduciendo la temperatura h sta llegar a milikelvins, casi el cero absoluto, haciendo entrar al sistema en un regime de acoplamiento ultra-fuerte en el que cada electron adicional en el nanotubo lograba despl zar la posicion de equilibrio del nanotubo lejos de su amplitud del punto-cero. Con una ampl tud de solo un factor de 13 sobre el movimiento del punto-cero, pudieron notar estas vibraci nes no lineales. Los resultados son asombrosos, porque las vibraciones presentes en o ros resonadores, enfriados hasta el estado fundamental cuantico, demostraron ser no lineale en amplitudes aproximadamente 610.000.000 de veces mayores respecto su movimiento de punto-cero.

Este nuevo mecanismo muestra una fisica destacable detras, ya que al contrario de lo que se esperaba, la inarmonia aumenta a medida que las vibraciones se enfrian mas cerca del estado fundamental. Esto es justo lo opuesto a lo que se habia observado hasta ahora en todos los demas sistemas de resonadores mecanicos. Tal y como comenta el primer autor del estudio Chandan Samanta, i¿½cuando los investigadores comenzaron a estudiar l s resonadores nanomecanicos, una pregunta recurrente era si seria posible lograr efectos o lineales en las vibraciones que se encuentran en el estado fundamental cuantico. Algun s investigadores lideres en el campo argumentaron que esto seria un desafio considerab e debido a las limitaciones tecnologicas, y esta creencia se ha mantenido como el paradig a aceptado hasta ahora. En este contexto, nuestro trabajo representa un avance conceptu l muy significativo porque demostramos que las vibraciones no lineales en el regim n cuantico son alcanzables. Estamos seguros de que los efectos no lineales podrian haber e mejorado aun mas al acercarse al estado fundamental cuantico, pero estabamos limitad s por la temperatura de nuestro criostato actual. Nuestro trabajo ha demostrado proporcion r una hoja de ruta para lograr las vibraciones no lineales en el regimen cuanticoi? ½. Al contrario de lo que se ha observado hasta ahora en otros resonadores mecanicos

el equipo de investigadores encontro un metodo para aumentar la inarmonia de un oscil
dor mecanico cerca de su regimen cuantico. Los resultados de este estudio establecen
los primeros pasos importantes para el desarrollo futuro de qubits mecanicos o inclus
de simuladores cuanti
os. Como concluye Adrian Bachtold: i¿½Es notable que entramos en un regi
en de acoplamiento ultrafuerte y observamos una fuerte inarmonia en el resonador. Pero la t
sa de amortiguamiento se vuelve grande a bajas temperaturas debido al acoplamien
o del resonador a un punto cuantico. En futuros experimentos que involucren el estu
io de i¿½estados cati¿½ y i¿½qubits mecanicosi¿½, sera ventajoso acoplar
ibraciones de nanotubos a un punto cuantico doble, ya que permite fuertes no linealid
des junto con estados mecanicos de larga duracion. La amortiguacion que surge del electr
n en el punto cuantico doble se suprime exponencialmente a baja temperatura, por lo q
e deberia ser posible lograr una tasa de amortiguacion de 10 Hz medida en na
otubos a baja temperaturai¿½.



De izquierda a derecha: El Prof. del ICFO y lider del grupo Adrian Bachtold, Christoffer Moller, Chandan Samanta, Sergio Lucio de Bonis y Roger Tormo-Queralt en uno de los laboratorios del grupo en el ICFO