

CODIFICADO UN BIT CUÁNTICO DE SIETE ELEMENTOS QUE PUEDE SERVIR DE MÓDULO BÁSICO PARA UN ORDENADOR CUÁNTICO LIBRE DE ERRORES

El trabajo, publicado en la revista *Science*, es el resultado de una investigación conjunta entre físicos de la Universidad Complutense y la Universidad de Innsbruck

Madrid, 17 de junio de 2014. Un grupo de físicos españoles y austríacos ha codificado un bit cuántico en estados entrelazados de varias partículas y, por primera vez, ha conseguido realizar con él computaciones sencillas. El registro cuántico de siete componentes podría servir como módulo básico para un ordenador cuántico capaz de corregir todo tipo de errores. La investigación ha sido publicada (12 de junio) en la [edición online de Science](#), y se incluirá en su próxima edición impresa.

El trabajo, [Quantum computations on a topologically encoded qubit](#), fruto de una colaboración entre científicos de las Universidades Complutense y de Innsbruck, se ha realizado con un modelo teórico desarrollado por el Grupo de Información y Computación Cuántica de la Complutense, denominado *códigos topológicos de color*. Además del estado cuántico más complejo construido experimentalmente hasta ahora, se han conseguido también por primera vez otros grandes logros:

- La preparación de un estado cuántico capaz de codificar un qubit lógico resistente a todo tipo de errores cuánticos.
- La corrección de errores arbitrarios sobre el código cuántico topológico.
- La aplicación de puertas lógicas cuánticas sobre el código cuántico.

Los errores en computación cuántica

Los ordenadores son vulnerables a errores, pequeñas perturbaciones pueden modificar la información y falsear el resultado del cálculo. La corrección de errores será especialmente importante en un futuro ordenador cuántico, ya que en este tipo de computación los errores son mucho más dañinos. “Los fenómenos de la física cuántica son muy frágiles y vulnerables a perturbaciones, y los errores se pueden propagar rápidamente y desestabilizar un ordenador”, dice **Thomas Monz**, del grupo de investigación de Rainer Blatt en el Instituto de Física Experimental de la Universidad de Innsbruck. Junto con **Markus Müller** y **Miguel Ángel Martín-Delgado**, del Departamento de Física teórica I de la Universidad Complutense, los físicos de Innsbruck han desarrollado y comprobado un nuevo método de corrección de errores. En palabras de Monz, “un bit cuántico no solo es muy complejo y no puede ser copiado, sino que además los errores en el mundo cuántico son más variados y difíciles de combatir que en los ordenadores actuales.” Para poder detectar y corregir errores en un ordenador cuántico es necesario recurrir a sofisticados códigos cuánticos. El que se ha utilizado en esta investigación fue propuesto por el Grupo de Información y Computación Cuántica (GICC) del profesor Martín-Delgado en la Complutense. El código distribuye los bits cuánticos en una red bidimensional en la que interactúan con las partículas vecinas.

Un bit cuántico repartido

En el laboratorio de Innsbruck, los físicos utilizan una trampa de iones en la que atrapan siete átomos de calcio. Estos, mediante láseres, se enfrían hasta casi alcanzar el punto cero de temperatura y

pueden ser controlados con alta precisión. Los investigadores almacenan los estados cuánticos frágiles del bit cuántico lógico en los estados entrelazados de estas partículas y es justamente el código cuántico de corrección de errores el que proporciona el programa que lo hace robusto. **Daniel Nigg**, de Innsbruck, comenta que “codificar en siete bits cuánticos el bit cuántico lógico ha sido un verdadero desafío experimental por la elevada complejidad del estado cuántico.” La codificación se realizó en tres pasos, en cada uno de los cuales se aplicó una secuencia compleja de pulsos de láser para entrelazar grupos de cuatro bits cuánticos vecinos. “Con esto se ha conseguido por primera vez utilizar siete átomos de manera controlada para almacenar un único bit cuántico”, explica Markus Müller, quien en 2011 se trasladó a la Complutense. “Estos átomos, entrelazados de esta forma específica, proporcionan suficiente información para sucesivas correcciones de errores y computaciones cuánticas.”

Computación sin errores

En el siguiente paso se comprobó la posibilidad de detectar y corregir los diferentes tipos de errores. Y se demostró experimentalmente que en este sistema cuántico se pueden detectar y corregir de manera independiente, y para cada una de las partículas, todos los posibles tipos de errores. “Solo necesitamos información sobre las correlaciones entre las partículas, en vez de medidas de las partículas individuales”, explica **Esteban Martínez**, físico de la Universidad de Innsbruck.

Pero no solo se logró detectar los errores, sino que también se consiguió, por primera vez, realizar pasos computacionales básicos e incluso ejecutar secuencias de cómputo más largas. Una vez superada la laboriosa codificación, únicamente se requieren manipulaciones en bits cuánticos individuales para llevar a cabo las operaciones computacionales.

Una base para futuros desarrollos

Este código cuántico es un importante avance hacia el desarrollo de un ordenador cuántico viable, ya que permite, por primera vez, realizar computaciones cuánticas elementales y corregir al tiempo todo tipo de errores. El modelo de los siete átomos, empleado para el almacenamiento de un bit cuántico lógico, puede servir como módulo fundamental para sistemas cuánticos mucho más grandes. Según Müller, “cuanto mayor es la red de bits cuánticos, más robusta se hace. Al final de este desarrollo podría haber un ordenador cuántico capaz de ejecutar computaciones arbitrariamente largas, sin que le afecten errores.”

Este experimento no solo abre nuevas perspectivas tecnológicas. En palabras de Rainer Blatt, “también se presentan nuevos desafíos metodológicos, por ejemplo, cómo caracterizar estos bits cuánticos tan grandes.” El profesor de la Complutense **Miguel Ángel Martín-Delgado** avanza que “ya estamos trabajando juntos en diversas mejoras de los códigos cuánticos empleados y en su optimización para computaciones cuánticas aún más extensas.”

El proyecto ha sido financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad, el programa *Quantum Information Technologies in Madrid* (QUITEMAD) de la Comunidad de Madrid, el Austrian Science Fund (FWF). La Comisión Europea (PICC), la Industria Tirolesa y el Gobierno de Estados Unidos.

[Quantum computations on a topologically encoded qubit](#). Daniel Nigg, Markus Müller, Esteban A. Martínez, Philipp Schindler, Markus Hennrich, Thomas Monz, Miguel Ángel Martín-Delgado y Rainer Blatt.