



## Nuevas propiedades topológicas de la materia emergen a partir un sistema ultra frío de átomos-cavidad

Un equipo internacional de investigadores da a conocer un nuevo método que permite inducir una topología de orden superior protegida por simetría a través de un mecanismo espontáneo de ruptura de simetría en un sistema bidimensional de átomos bosónicos ultrafríos dentro de una cavidad.

January 17, 2024

La topología es un campo de las matemáticas que estudia las propiedades de los objetos geométricos que se conservan bajo deformaciones continuas. En física, la topología proporciona un marco para comprender las propiedades clave de los sistemas físicos, lo que ha llevado al descubrimiento de nuevos materiales con propiedades únicas.

Desde el descubrimiento de los materiales topológicos, que se distinguen por sus propiedades no locales únicas, la topología se ha convertido en un área central de

investigación tanto en física fundamental como aplicada. En los últimos años, se han logrado avances considerables en la extensión del paradigma existente de las fases de la materia para incluir la noción de topología y su relación con las simetrías subyacentes de los sistemas cuánticos. Esto resultó en una clasificación exhaustiva de los sistemas topológicos de interacción-npn. Sin embargo, todavía hay muchos ejemplos de fases topológicas no convencionales que se escapan del paradigma actual, presentando retos y preguntas que exigen nuevas perspectivas, puntos de vista y soluciones. Esto incluye, por ejemplo, comprender la interacción de la topología con las interacciones, o el estudio de materiales aislantes topológicos de orden superior, que generalizan la correspondencia de límites generales. Actualmente, estas nuevas fases están siendo propuestas y descubiertas en una amplia gama de sistemas, incluidos los sistemas electrónicos, la fotonica o los átomos fríos en redes ópticas, entre otros.

Los simuladores cuánticos basados en átomos fríos en redes ópticas no solo han estado en el centro del estudio de materiales topológicos debido a su versatilidad, sino que también se utilizan para probar sistemas en los que las interacciones entre partículas desafían las capacidades de los métodos computacionales disponibles. De hecho, la relación entre interacciones y topología puede dar lugar a fenómenos interesantes. Por ejemplo, la combinación de ruptura de simetría inducida por interacción y protección de simetría puede dar lugar a cargas fraccionarias deslocalizadas, ausentes en el caso de no interacción. Los experimentos con átomos fríos surgen como candidatos perfectos para estudiar sistemas topológicos que interactúan, pero aún deben compararse utilizando métodos numéricos avanzados.

En un estudio recientemente publicado en *Physical Review Letters*, la investigadora del ICFO Joana Fraxanet, dirigida por el profesor ICREA del ICFO Maciej Lewenstein, en colaboración con Daniel Gonzalez-Cuadra del IQOQI, Alexandre Dauphin de PASQAL y Luca Barbiero del Politecnico de Torino, informan sobre un protocolo experimental fácilmente disponible para inducir una topología de orden superior protegida por simetría a través de un mecanismo espontáneo de ruptura de simetría en un sistema de cavidad atómica.

En su estudio, los científicos utilizaron técnicas numéricas basadas en redes tensorales para investigar un sistema formado por átomos bosónicos ultrafríos acoplados a dos cavidades. Los átomos quedan atrapados en la banda de energía más baja de una red óptica, que se genera mediante rayos láser que se propagan en direcciones opuestas. Al agregar dos cavidades ópticas, los científicos han mejorado la probabilidad de interacciones mediadas por fotones entre los átomos, lo que conduce a interacciones efectivas de rango infinito. Para los regímenes de interés, estas interacciones inducen una transición de Peierls, que

rompe espontaneamente la simetria traslacional del sistema. El patron resultante abre una brecha topologica, lo que lleva a una fase topologica de orden superior que alberga estados denominados estados de esquina. Los autores presentan un protocolo detallado para la preparacion adiabatica de esta fase topologica de orden superior, que puede implementarse facilmente utilizando simuladores cuanticos de atomos ultrafrios existentes, abriendo asi el camino hacia la realizacion de fases topologicas inducidas por interaccion bidimensional y la observacion de Transiciones de Peierls en dimensiones mayores que uno.

Como comenta Joana Fraxanet, ¿nos gustaria extender la configuracion para incluir cavidades multimodo, que permitan generar defectos topologicos de tipo atomo-foton. Estos defectos generalizarian los solitones topologicos y las cuasiparticulas fraccionadas que se encuentran en el modelo de Su-Schrieffer-Heeger a dos dimensiones. Además, al explorar el regimen de los bosones blandos, esperamos encontrar fases supersolidas ordenadas en plaquetas?

?. Los resultados presentados en este estudio representan un paso adelante en la comprension de los fenomenos topologicos que interactuan, que pueden tener aplicaciones importantes en el procesamiento de informacion cuantica y el descubrimiento de nuevos materiales. Además, los resultados son relevantes para una amplia comunidad de investigadores teoricos y experimentales que trabajan en materia topologica, experimentos con atomos ultrafrios, optica cuantica y fisica del estado solido.

**Referencia:** [Higher-Order Topological Peierls Insulator in a Two-Dimensional Atom-Cavity System](#), Joana Fraxanet, Alexandre Dauphin, Maciej Lewenstein, Luca Barbiero, and Daniel Gonzalez-Cuadra, Phys. Rev. Lett. 131, 263001 (2023) - Published 27 December 2023

###

**Pie de figura:** Configuracion experimental de cavidad atomica. Los atomos bosonicos ultrafrios estan atrapados en la banda mas baja de una red optica 2D. Los atomos estan acoplados a dos modos de cavidad creados por dos cavidades opticas alineadas en las direcciones xey, y a una bomba laser alineada en la direccion z. En cada direccion, la fase relativa entre la red optica y el modo de cavidad se elige de manera que los nodos de este ultimo coincidan con los sitios de la red. En esta configuracion, el hamiltoniano efectivo que describe el sistema atomo-cavidad contiene terminos de tunelizacion correlacionada, donde los atomos pueden hacer tuneles entre sitios vecinos mas cercanos absorbiendo o emitiendo un foton desde la cavidad.