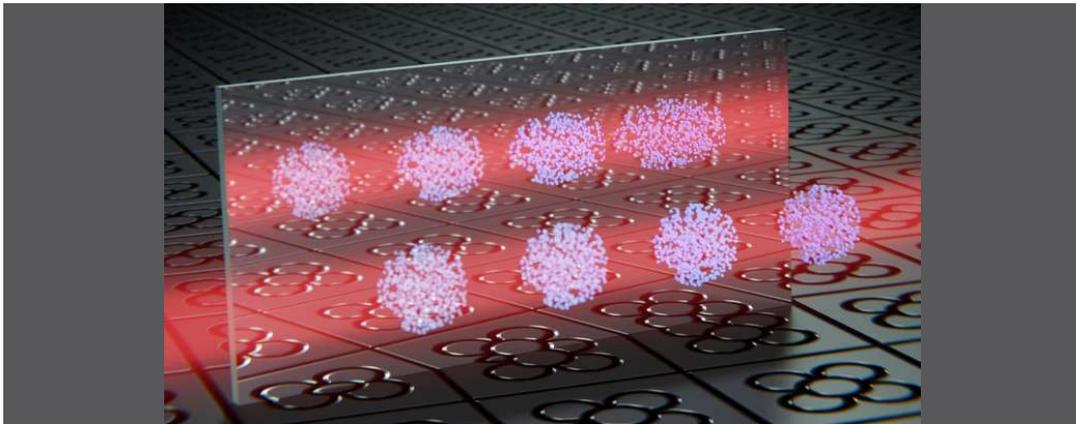


29/11/2022

Simulación de una teoría gauge topológica de materia condensada con átomos fríos



Una colaboración entre investigadores del Departamento de Física de la UAB y del ICFO ha logrado un avance significativo hacia la simulación cuántica de la teoría gauge de Chern-Simons, que explica el efecto Hall fraccionario, uno de los fenómenos más intrigantes de la materia condensada. Los investigadores han llevado a cabo por primera vez en un experimento su reducción a una sola dimensión espacial, la teoría gauge topológica BF quiral, empleando átomos de potasio 39 enfriados unas mil millonésimas partes de grado por encima del cero absoluto.

Representación artística de una nube de átomos de potasio ultrafríos acoplados mediante luz, que les confiere interacciones quirales descritas por la teoría gauge BF quiral. Su efecto es que la nube se comporte de forma diferente a su imagen en el espejo. Crédito de la imagen: ICFO/Scixel.

La física de un gas bidimensional de electrones sometidos a un campo magnético perpendicular da lugar a uno de los fenómenos más intrigantes de la materia condensada: el efecto Hall cuántico fraccionario. Para factores de relleno (la proporción de electrones a cuantos de flujo magnético) específicos, los electrones forman un estado colectivo fuertemente correlacionado de la materia. De forma sorprendente, sus excitaciones se comportan como si tuviesen carga elemental y estadística de intercambio fraccional, es decir, como anyones. Dicho comportamiento complejo puede describirse de forma elegante mediante una teoría efectiva de baja energía, la teoría gauge topológica de Chern-Simons. La realización experimental directa de dicha teoría en un sistema cuántico artificial y

altamente sintonizable – lo que se conoce como simulación cuántica - permitiría la observación de anyones en ausencia de interacciones fuertes, posibilitando la explotación controlada de sus propiedades para aplicaciones tales como la computación cuántica.

En una reciente colaboración entre la Universidad Autónoma de Barcelona (UAB) y el Instituto de Ciencias Fotónicas de Barcelona (ICFO) recientemente publicada en *Nature*, presentamos un avance significativo hacia la simulación cuántica de la teoría gauge de Chern-Simons al realizar por primera vez en un experimento su reducción a una sola dimensión espacial, la teoría gauge topológica BF quiral. Además, la revista *Physical Review Research* ha publicado el trabajo teórico asociado al artículo de *Nature* como *Editor's suggestion*.

El experimento utiliza átomos de potasio 39 enfriados unas mil millonésimas partes de grado por encima del cero absoluto. El potasio 39 dispone de dos estados de spin con interacciones atómicas de intensidades muy diferentes. Al acoplarlos mediante luz, las interacciones atómicas se ligan al momento de los átomos, volviéndose de forma efectiva quirales: los átomos interactúan de manera distinta entre sí dependiendo de su velocidad. En la UAB, mostramos teóricamente que en determinadas condiciones dichas interacciones son equivalentes a la teoría gauge BF quiral, y pueden realizarse en un rango de parámetros accesibles experimentalmente.

Para demostrar la quiralidad de las interacciones, en el experimento de ICFO creamos solitones brillantes quirales: paquetes de ondas que se propagan sin dispersión cuando viajan en una dirección, pero que se expanden como un gas normal cuando se propagan en la dirección opuesta. Dicho estado colectivo, predicho teóricamente a principios de los noventa a partir de la teoría gauge, reproduce el comportamiento de los electrones en los bordes de los materiales con efecto Hall cuántico fraccionario y no se había observado experimentalmente hasta ahora. Asimismo, observamos una fuerza eléctrica sintética autogenerada por el sistema, que actúa sobre los átomos a pesar de ser neutros, y que constituye una de las propiedades clave de la teoría BF quiral.

Estos resultados constituyen un paso importante hacia la simulación cuántica de teorías de gauge efectivas utilizando átomos ultrafríos.

Alessio Celi

Investigador Talent
Departamento de Física
Universitat Autònoma de Barcelona
alessio.celi@uab.cat

Leticia Tarruell

Profesora de Investigación ICREA
Institut de Ciències Fotòniques
leticia.tarruell@icfo.eu

Referencias

A. Frölian, C. S. Chisholm, E. Neri, C. R. Cabrera, R. Ramos, A. Celi, and L. Tarruell, **Realizing a 1D topological gauge theory in an optically dressed BEC**, *Nature* 608, 293-297 (2022) DOI: 10.1038/s41586-022-04943-3. <https://www.nature.com/articles/s41586-022-04943-3>

C. S. Chisholm, A. Frölian, E. Neri, R. Ramos, L. Tarruell, and A. Celi, **Encoding a one-dimensional topological gauge theory in a Raman-coupled Bose-Einstein condensate**, *Phys. Rev. Research* 4, 043088 (2022) DOI: 10.1103/PhysRevResearch.4.043088
<https://journals.aps.org/prresearch/pdf/10.1103/PhysRevResearch.4.043088>

[View low-bandwidth version](#)