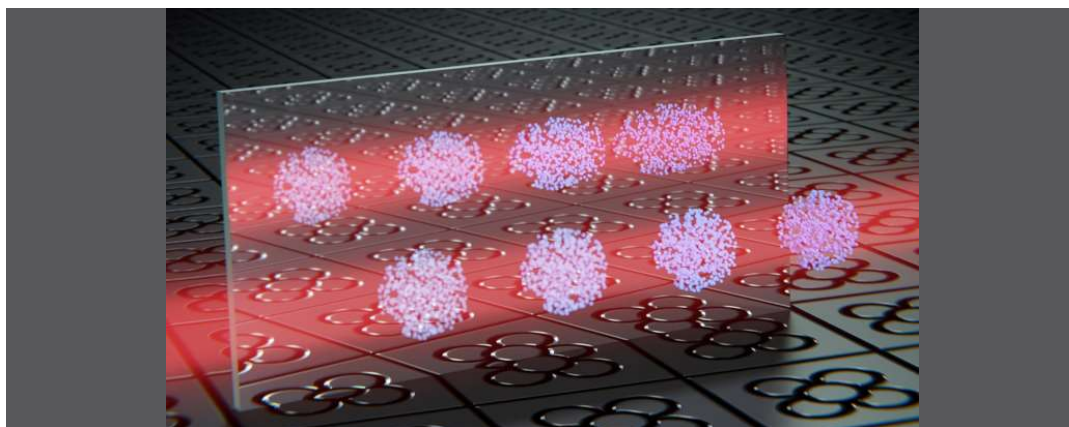


29/11/2022

## Simulació d'una teoria gauge topològica de matèria condensada amb àtoms freds



Una col·laboració entre investigadors del Departament de Física de la UAB i de l'ICFO ha aconseguit un avenç significatiu cap a la simulació quàntica de la teoria gauge de Chern-Simons, que explica l'efecte Hall fraccionari, un dels fenòmens més intrigants de la matèria condensada. Els investigadors han dut a terme per primera vegada en un experiment la seva reducció a una sola dimensió espacial, la teoria gauge topològica BF quirial, emprant àtoms de potassi 39 refredats unes mil milionèsimes parts de grau per sobre del zero absolut.

Representació artística d'un núvol d'àtoms de potassi ultrafreds acoblats mitjançant llum que els confereix interaccions quirals descrites per la teoria gauge BF quirial. El seu efecte és que el núvol es comporti de manera diferent de la seva imatge al mirall. Crèdit de la imatge: ICFO/Scixel.

La física d'un gas bidimensional d'electrons sotmesos a un camp magnètic perpendicular produeix un dels fenòmens més intrigants de la matèria condensada: l'efecte Hall quàntic fraccionari. Per a factors de farciment (la proporció d'electrons a quants de flux magnètic) específics, els electrons formen un estat col·lectiu fortament correlacionat de la matèria. De manera sorprenent, les excitacions es comporten com si tinguessin càrrega elemental i estadística d'intercanvi fraccionaria, és a dir, com anyons. Aquest comportament complex es pot descriure de forma elegant mitjançant una teoria efectiva de baixa energia, la teoria gauge topològica de Chern-Simons. La realització experimental directa de la teoria esmentada en un sistema quàntic artificial i altament sintonitzable - el que es coneix com a

simulació quàntica - permetria l'observació d'anyons en absència d'interaccions fortes, possibilitant l'explotació controlada de les seves propietats per a aplicacions com ara la computació quàntica.

En una col·laboració recent entre la Universitat Autònoma de Barcelona (UAB) i l'Institut de Ciències Fotòniques de Barcelona (ICFO) recentment publicada a *Nature*, presentem un avenç significatiu cap a la simulació quàntica de la teoria gauge de Chern-Simons en realitzar per primera vegada en un experiment la seva reducció a una sola dimensió espacial, la teoria gauge topològica BF quirals. La revista *Physical Review Research* ha publicat el treball teòric associat a l'article de *Nature* com a *Editor's suggestion*.

L'experiment utilitza àtoms de potassi 39 refredats unes mil milionèsimes parts de grau per sobre del zero absolut. El potassi 39 disposa de dos estats de espín amb interaccions atòmiques de diferents intensitats. A acoblar-los mitjançant llum, les interaccions atòmiques es lliguen al moment dels àtoms, tornant-se de manera efectiva quirals: els àtoms interactuen de manera diferent entre si depenent de la seva velocitat. A la UAB, mostrem teòricament que en determinades condicions aquestes interaccions són equivalents a la teoria gauge BF quirals, i es poden realitzar en un rang de paràmetres accessibles experimentalment.

Per demostrar la quiralitat de les interaccions, a l'experiment d'ICFO creem solitons brillants quirals: paquets d'ones que es propaguen sense dispersió quan viatgen en una direcció, però que s'expandeixen com un gas normal quan es propaguen a la direcció oposada. Aquest estat col·lectiu, predit teòricament a principis dels noranta a partir de la teoria gauge, reproduïx el comportament dels electrons a les vores dels materials amb efecte Hall quàntic fraccionari i no s'havia observat experimentalment fins ara. Així mateix, observem una força elèctrica sintètica autogenerada pel sistema, que actua sobre els àtoms tot i ser neutres, i que constitueix una de les propietats clau de la teoria BF quirals.

Aquests resultats constitueixen un pas important cap a la simulació quàntica de teories de gauge efectives utilitzant àtoms ultrafreds.

### Alessio Celi

Investigador Talent  
Departament de Física  
Universitat Autònoma de Barcelona  
[alessio.celi@uab.cat](mailto:alessio.celi@uab.cat)

### Leticia Tarruell

Professora de Recerca ICREA  
Institut de Ciències Fotòniques  
[leticia.tarruell@icfo.eu](mailto:leticia.tarruell@icfo.eu)

### Referències

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](#)