



Noves propietats topològiques de la matèria emergeixen a partir un sistema ultrafria d'atòms-cavitat

Un equip internacional d'investigadors dona a conèixer un nou mètode que permet induir una topologia d'ordre superior protegida per simetria a través d'un mecanisme espontani de ruptura de simetria en un sistema bidimensional d'atòms bosònics ultrafreds dins d'una cavitat.

January 17, 2024

La topologia és un camp de les matemàtiques que estudia les propietats dels objectes geomètrics que es conserven sota deformacions contínues. En física, la topologia proporciona un marc per comprendre les propietats clau dels sistemes físics, cosa que ha portat al descobriment de nous materials amb propietats úniques.

Des del descobriment dels materials topològics, que es distingeixen per les seves propietats no locals úniques, la topologia ha esdevingut una àrea central de recerca tant en física fonamental com aplicada. En els darrers anys, s'han aconseguit avenços considerables en

l'extensió del paradigma existent de les fases de la matèria per incloure la noció de topologia i la relació amb les simetries subjacents dels sistemes quàntics. Això va resultar en una classificació exhaustiva dels sistemes topològics d'interacció-npn. Tot i això, encara hi ha molts exemples de fases topològiques no convencionals que s'escapen del paradigma actual, presentant reptes i preguntes que exigeixen noves perspectives, punts de vista i solucions. Això inclou, per exemple, comprendre la interacció de la topologia amb les interaccions, o l'estudi de materials aïllants topològics d'ordre superior, que generalitzen la correspondència de límits generals. Actualment, aquestes noves fases estan sent proposades i descobertes en una àmplia gamma de sistemes, inclosos els sistemes electrònics, la fònica o els àtoms freds a xarxes òptiques, entre d'altres.

Els simuladors quàntics basats en àtoms freds en xarxes òptiques no només han estat al centre de l'estudi de materials topològics a causa de la seva versatilitat, sinó que també s'utilitzen per provar sistemes en que les interaccions entre partícules desafien les capacitats dels mètodes computacionals disponibles. De fet, la relació entre interaccions i topologia pot donar lloc a fenòmens interessants. Per exemple, la combinació de ruptura de simetria induïda per interacció i protecció de simetria pot donar lloc a càrregues fraccionàries deslocalitzades, absents en cas de no interacció. Els experiments amb àtoms freds sorgeixen com a candidats perfectes per estudiar sistemes topològics que interactuen, però encara s'han de comparar utilitzant mètodes numèrics avançats.

En un estudi recentment publicat a *Physical Review Letters*, la investigadora de l'ICFO Joana Fraxanet, dirigida pel Professor ICREA de l'ICFO Maciej Lewenstein, en col·laboració amb Daniel Gonzalez-Quadra de l'IQOQI, Alexandre Dauphin de PASQAL i Luca Barbiero de Politecnico de Torino, informen sobre un protocol experimental fàcilment disponible per induir una topologia d'ordre superior protegida per simetria a través d'un mecanisme espontani de ruptura de simetria en un sistema de cavitats atòmiques.

Al seu estudi, els científics van utilitzar tècniques numèriques basades en xarxes de tensor per investigar un sistema format per àtoms bosònics ultrafreds dins de dues cavitats. Els àtoms queden atrapats a la banda d'energia més baixa d'una xarxa òptica, que es genera mitjançant raigs laser que es propaguen en direccions perpendiculars. En afegir dues cavitats òptiques els científics han millorat la probabilitat d'interaccions intervingudes per fotons entre els àtoms, fet que condueix a interaccions efectives de rang infinit. Per als règims d'interès aquestes interaccions induïxen una transició de Peierls, que trenca espontàniament la simetria translacional del sistema. El patró resultant obre una bretxa topològica, cosa que porta a una fase topològica d'ordre superior que alberga estats anomenats estats de cantonada. Els autors presenten un protocol detallat per a la preparació adiabàtica d'aquesta fase topològica d'ordre superior, que es pot implementar fàcilment utilitzant simulador quàntic d'àtoms ultrafreds existents, obrint així el camí cap a la realització de fases topològiques induïdes per interacció bidimensional i l'observació de transicions de Peierls en dimensions més grans que un

Com comenta Joana Fraxanet, i ¿ens agradaria estendre la configuracio per incloure cavitats multimode, que permetin generar defectes topologics de tipus atom-foto. Aquests defectes generalitzarien els solitons topologics i les quasiparticules fraccionades que es troben al model de Su-Schrieffer-Heeger a dues dimensions. A mes, en explorar el regim dels bosons tous, esperem trobar fases supersolides ordenades en plaquetes i ¿. Els resultats presentats en aquest estudi representen un pas endavant en la comprensio dels fenomenos topologics que interactuen, que poden tenir aplicacions importants en el processament d'informacio quantica i la descoberta de materials nous. A mes a mes els resultats son rellevants per a una amplia comunitat d'investigadors teorics i experimentals que treballen en materia topologica, experiments amb atoms ultrafreds, optica quantica i fisica de l'estat s

d.

Peu de figura: Configuracio experimental de cavitat atomica. Els atoms bosonics ultrafreds estan atrapats a la banda mes baixa d'una xarxa optica 2D. Els atoms estan acoblats a dos modes de cavitat creats per dues cavitats optiques alineades a les direccions xey, ia una bomba laser alineada a la direccio z. A cada adreca, la fase relativa entre la xarxa optica i el mode de cavitat s'escull de manera que els nodes d'aquest ultim coincideixin amb els llocs de la xarxa. En aquesta configuracio, l'hamiltonia efectiu que descriu el sistema atom-cavitat conte termes de tunelitzacio correlacionada, on els atoms poden fer tunels entre llocs veïns mes propers absorbint o emetent un foto des de la cavitat.