

Nova tecnica escalable i robusta permet identificar transicions de fase quantiques

Investigadors de l'ICFO han reformulat el problema de l'estat fonamental per resoldre'l de manera eficient i escalable. El metode de relaxacio ha identificat teoricament transicions de fase quantiques en sistemes de bicapes bidimensionals d'espins quantics, tracant el seu diagrama de fases complet.
Els resultats, publicats a Physical Review Letters, consoliden els metodes de relaxacio com a eines robustes, escalables i precises a l'hora d'explorar els diagrames de fases de sistemes quantics complexos, la qual cosa suposa un avenc significatiu respecte a les tecniques computacionals anteriors.

February 18, 2026

En fisica quantica, l'estat fonamental es l'estat d'energia mes baixa en que pot trobar-se un sistema, un estat que normalment s'assoleix a temperatures properes al zero absolut. En

aquestes condicions, modificar determinats parametres externs, com ara la pressio o el camp magnetic, pot donar lloc a transicions de fase quantiques, que estan impulsades per fluctuacions quantiques i no pas termiques. Un sistema que experimenta una transicio d'aquest tipus pot, per exemple, passar de ser conductor a aillant, o d'una fase ferromagnetica ordenada a una de desordenada.

L'estudi de les transicions de fase quantiques permet comprendre millor els efectes quantics fonamentals que determinen les propietats dels materials, sense la influencia addicional de la calor. Aixo ens pot ajudar a explicar per que els materials quantics presenten comportaments tan diferents. Tanmateix, a mesura que els sistemes esdevenen mes complexos, trobar l'estat fonamental i determinar-ne les propietats resulta cada cop mes dificil.

Investigadors de l'ICFO, el **Dr. David Jansen**, el **Dr. Luke Mortimer**, en **Timothy Heightman**, el **Dr. Andreas Leitherer**, i el **Dr. Pere Mujal**, dirigits pel **Prof. ICREA Antonio Acin**, en col·laboracio amb la Universita degli Studi di Napoli Federico II, el State Key Laboratory o Mathematical Sciences (Xina) i Quside, han reformulat recentment el problema de l'esta fonamental, donant lloc a una versio simplificada o i¿½relaxadai¿½ que es pot resold e de manera **eficient** i **escalable**. El metode de relaxacio, publicat a Physical Review Letters, es presenta com **una nova eina capac de tracar diagrames de fases**, fet que l'equip va demostrar en sistemes de bicapes bidimensionals d'espins quantics.

Aquestes relaxacions, formulades mitjancant programacio semidefinida (SDP, per les seves sigles en angles), **superen les limitacions dels metodes exactes i variacionals tradicionals**. Els metodes exactes estan restringits a sistemes relativament petits, essent poc practics per a models mes grans i complexos. Els metodes variacionals, tot i ser escalables, solen proporcionar unicament fites superiors per a l'energia de l'estat fonamental i poden queda atrapats en minims locals (es a dir, solucions que no corresponen a l'estat d'energia realmen mes baixa del sistema), sense oferir per tant cap garantia sobre la precisio dels resultats En canvi, les relaxacions basades en SDP escalen molt millor que els metodes exactes amb l mida del sistema, no es veuen afectades per minims locals (cosa que garanteix resultats me robustos) i proporcionen fites inferiors per a l'energia de l'estat fonamenta

. En l'estudi, els investigadors utilitzen les SDP no nomes per obtenir l'energia de l'est t fonamental, sino tambe per extreure els anomenats vectors de moments del sistema, q e encapsulen altres propietats de l'estat fonamental. Analitzant com canvien aquests vecto s de moments en variar determinats parametres, els investigadors van identificar l s transicions de fase**van tracar de manera eficient el diagrama de fases complet d'un sistema de bicapes bidimensionals d'espins quantics**.

i¿½El nostre metode ajuda a determinar la precisio dels calculs variacionals de l'est t fonamental en sistemes de molts cossos i, a mes, ofereix una manera rapida i escalable p r identificar les regions on es produeixen transicions de fase quantiquesi¿½, afirma el Dr. D vid Jansen, primer autor de l'article. Segons l'investigador, el següent pas sera aplicar a uest marc a aquells sistemes quantics bidimensionals en que s'ha demostrat que els me

odes estandard presenten dificul

Referencia:
David Jansen, Donato Farina, Luke Mortimer, Timothy Heightman, Andreas Leitherer, Pere Mujal, Jie Wang, and Antonio Acin, Mapping Phase Diagrams of Quantum Spin Systems through Semidefinite-Programming Relaxations, Phys. Rev. Lett. **136**, 050401 (2026).
DOI: https://doi.org/10.1103/j9rb-tnj4

Agraiments:
This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under the Marie Sk?odowska-Curie grant agreement No 847517, PNRR MUR Project No. PE0000023-NQSTI, European Union Next Generation EU PRTR-C17I1, MICIN and Generalitat de Catalunya with funding from the European Union, NextGenerationEU (PRTR-C17.I1), the EU projects PASQuanS2.1, 101113690, and Quantera Veriqtas and Compute, National Key R&D Program of China under grant No. 2023YFA1009401, the Government of Spain (Severo Ochoa CEX2019-000910-S and FUNQIP), Fundacio Cellex, Fundacio Mir-Puig, Generalitat de Catalunya (CERCA program), the ERC AdG CERQUTE and the AXA Chair in Quantum Information Science.