

Nueva tecnica escalable y robusta permite identificar transiciones de fase cuanticas

Investigadores del ICFO han reformulado el problema del estado fundamental para resolverlo de manera eficiente y escalable. Este metodo de relajacion ha identificado teoricamente transiciones de fase cuanticas en sistemas de bicapas bidimensionales de espines cuanticos, trazando su diagrama de fases completo.
Los resultados, publicados en Physical Review Letters, consolidan los metodos de relajacion como herramientas robustas, escalables y precisas a la hora de explorar los diagramas de fases de sistemas cuanticos complejos, lo que supone un avance significativo frente a las tecnicas computacionales anteriores.

February 18, 2026

En fisica cuantica, el estado fundamental es el estado de menor energia en el que puede encontrarse un sistema, un estado que normalmente se alcanza a temperaturas cercanas al

cero absoluto. En estas condiciones, modificar ciertos parametros externos, como la presion o el campo magnetico, puede dar lugar a transiciones de fase cuanticas, las cuales vienen impulsadas por fluctuaciones cuanticas en vez de termicas. Un sistema que experimenta una transicion de este tipo puede, por ejemplo, pasar de ser conductor a aislante, o de una fase ferromagnetica ordenada a una desordenada.

El estudio de las transiciones de fase cuanticas permite comprender mejor los efectos cuanticos fundamentales que determinan las propiedades de los materiales, sin la influencia adicional del calor. Esto puede ayudarnos a explicar por que los materiales cuanticos exhiben comportamientos tan distintos. Sin embargo, a medida que los sistemas se vuelven mas complejos, encontrar el estado fundamental y determinar sus propiedades resulta mas dificil.

Investigadores del ICFO, el **Dr. David Jansen**, el **Dr. Luke Mortimer**, **Timothy Heightman**, el **Dr. Andreas Leitherer**, y el **Dr. Pere Mujal**, dirigidos por el **Prof. ICREA Antonio Acin**, en colaboracion con la Universita degli Studi di Napoli Federico II, el State Key Laboratory of Mathematical Sciences (China) y Quside, han reformulado recientemente el problema del estado fundamental, dando lugar a una version simplificada o i¿½relajadai¿½ que p ede resolverse de forma **eficiente** y **escalable**. El metodo de relajacion, publicado en Physical Review Letters, se presenta como una **nueva herramienta para trazar diagramas de fases**, algo que el equipo demostro en sistemas de bicapas bidimensionales de espines cuanticos. Estas relajaciones, formuladas mediante programacion semidefinida (SDP, por sus siglas en ingles), **superan las limitaciones de los metodos exactos y variacionales tradicionales**. Los metodos exactos estan restringidos a sistemas relativamente pequenos, siendo poco practicos para modelos mas grandes y complejos. Los metodos variacionales, aunque escalables, suelen proporcionar unicamente cotas superiores para la energia del estado fundamental y pueden quedar atrapados en minimos locales (es decir, soluciones que no corresponden al estado de energia mas baja real del sistema), sin ofrecer por tanto garantia alguna sobre la precision de los resultados.

En cambio, las relajaciones basadas en SDP escalan mucho mejor que los metodos exactos con el tamano del sistema, no se ven afectadas por minimos locales (lo que garantiza resultados mas robustos) y proporcionan cotas inferiores para la energia del estado fundamental.

En el estudio, los investigadores utilizan las SDPs no solo para obtener la energia del estado fundamental, sino tambien para extraer los llamados vectores de momentos del sistema, los cuales encapsulan otras propiedades del estado fundamental. Al analizar como cambian estos vectores de momentos cuando varian ciertos parametros, los investigadores identificaron las transiciones de fase y **trazaron eficientemente el diagrama de fases completo de un sistema de bicapas bidimensionales de espines cuanticos**.

i¿½Nuestro metodo ayuda a determinar la precision de los calculos variacionales del esta o fundamental en sistemas de muchos cuerpos y, ademas, ofrece una manera rapida y escalable de identificar las regiones en las que se producen transiciones de fa

e cuanticasi¿½, afirma el Dr. David Jansen, primer autor del articulo. Segun el investigador el siguiente paso sera aplicar este marco a aquellos sistemas cuanticos bidimensionales en los que se ha demostrado que los metodos estandar presentan dificulta

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

Agradecimientos:
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.