

UNIwersytet Jagielloński

Abstrakt

Wydział Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej
Instytut Fizyki Teoretycznej

Określanie porządku topologicznego za pomocą sieci tensorowej

Anna FRANCUZ

Egzotyczne fazy materii, które wykraczają poza paradygmat faz i przejść fazowych Landaua, stały się jednym z głównych kierunków badań w dziedzinie fizyki materii skondensowanej w ciągu ostatnich kilkudziesięciu lat. Doprowadziło to do postępów zarówno w ich eksperymentalnych realizacjach, jak i w ich analizie, dzięki potężnym metodom numerycznym, takim jak sieci tensorowe. Wśród tych egzotycznych faz materii znajdują się fazy uporządkowane topologicznie, których analiza jest szczególnie trudna ze względu na degenerację stanu podstawowego i brak lokalnego parametru porządku. Porządek topologiczny stał się znany za sprawą Alexei Kitaeva, który pokazał, że kwantowe modele obliczeniowe można sformułować w języku układów materii skondensowanej. Jednak poza kilkoma dokładnie rozwiązywalnymi modelami, analiza Hamiltonianów na sieci pod kątem występowania porządku topologicznego stanowiła bardzo duże wyzwanie.

Rozprawa ta zawiera przegląd teorii mających na celu klasyfikację stanów uporządkowanych topologicznie i nowatorskich metod numerycznych do określenia zarówno abelowego, jak i nieabelowego porządku topologicznego Hamiltonianów na sieci. Numeryczną metodą do badania silnie skorelowanych układów dwuwymiarowych, takich jak układy z uporządkowaniem topologicznym, jest PEPS (ang. projected entangled pair states), ponieważ pozwala na analizę stanów, które nie były osiągalne przez najnowocześniejsze algorytmy 2D DMRG ze względu na długą długość korelacji.

W pracy przedstawiono numeryczne metody analizy zoptymalizowanej nieskończonej sieci iPEPS (ang. infinite PEPS), pozwalające na wydobycie informacji o porządku topologicznym. Kluczową ideą jest znalezienie symetrii iMPO (ang. infinite matrix product operators) sieci iPEPS, których istnienie jest warunkiem koniecznym, aby stan dany za pomocą tej sieci tensorowej wykazywał porządek topologiczny. Symetrie iMPO można później wykorzystać do uzyskania topologicznych macierzy S i T , które (w większości znanych przypadków) można uznać za nielokalny parametr porządku faz uporządkowanych topologicznie, w tym sensie, że dają nam jednoznaczną informację o modelu wraz z jego wzbudzeniami i ich statystyką. Metoda ta jest odporna na wszelkie drobne zaburzenia tensorów, które mogą pojawić się podczas optymalizacji stanu podstawowego. Co więcej, znalezienie symetrii iMPO umożliwia elegancki opis modelu za pomocą struktury matematycznej leżącej u podstaw faz materii z uporządkowaniem topologicznym – modularnej kategorii tensorowej.