

Układy wielu silnie skorelowanych cząstek kwantowych są jednym z największych wyzwań współczesnej fizyki. Efekty korelacji są niezwykle silne w jednym lub dwu wymiarach przestrzennych prowadząc do egzotycznych stanów kwantowych, których zastosowania sięgają od nadprzewodnictwa wysokotemperaturowego po topologiczne komputery kwantowe. Jednocześnie są one nadzwyczaj trudne do badania metodami zarówno analitycznymi jak i numerycznymi. Problemy ujawniają się w całej pełni w dwóch wymiarach. Tutaj metody analityczne często ograniczają się do różnych wariantów przybliżenia średniego pola, które w najciekawszych sytuacjach miewa problematyczną wartość, wariacyjne funkcje falowe z góry ograniczają klasę rozważanych rozwiązań, a kwantowe Monte Carlo nagminnie cierpi na problem znaku, wynikający z frustracji oddziaływań lub statystyki Fermiego. W tej chwili największe nadzieje na przełom wiązane są z kwantowymi sieciami tensorowymi. Sieci tensorowe są wyrafinowanym narzędziem numerycznym, wywodzącym się z teorii kwantowej informacji. To właśnie przy ich pomocy udało się uzyskać najlepsze przybliżenia stanu podstawowego modeli $t - J$ i Hubbarda, czyli paradygmatycznych modeli nadprzewodnictwa wysokotemperaturowego. Ponieważ sieci tensorowe nie cierpią na problem znaku, mogą okazać się bezkonkurencyjnym narzędziem do badania większości stanów podstawowych, które charakteryzują się stosunkowo słabym kwantowym splątaniem. Gdy jednak splątanie jest zbyt duże nawet dla sieci tensorowych, wtedy metodą ostatniej szansy mogą okazać się symulatory kwantowe, czyli takie kwantowe układy fizyczne, które służą do w pełni kwantowej symulacji innych układów kwantowych bez żadnych ograniczeń na wielkość splątania. Ostatnio najślawniejszym kwantowym symulatorem jest nadprzewodzący D-Wave zakupiony między innymi przez Google.

Celem tego projektu jest rozwój i zastosowania do układów silnie skorelowanych kwantowych sieci tensorowych jak i lepsze zrozumienie adiabatycznych komputerów kwantowych, między innymi dzięki ich symulacji za pomocą sieci tensorowych jak i bezpośrednich eksperymentów na symulatorze D-Wave.

Zachęteni sukcesem sieci tensorowych w badaniach stanów podstawowych układów silnie skorelowanych, zaproponowaliśmy oryginalną sieć tensorową do badania stanu kwantowego tych układów w skończonej temperaturze. Celem tego projektu jest zarówno zastosowanie tej sieci do szerokiej klasy spinowych układów sfrustrowanych oraz modeli oddziałujących elektronów jak i dalszy rozwój algorytmu, aby mógł sprostać nawet największym wyzwaniom takim jak poznanie diagramu fazowego nadprzewodników wysokotemperaturowych.

Innym celem jest stworzenie sieci tensorowych do badania uporządkowania topologicznego w stanie podstawowym silnie oddziałujących cząstek. Układy uporządkowane topologicznie posiadają wzbudzenia anionowe, czyli o statystyce innej niż bozony lub fermiony, które mogą być użyte do obliczeń kwantowych, z samej swej topologicznej natury odpornych na wpływy otoczenia. Nasza topologiczna sieć tensorowa pozwoli na systematyczne poszukiwanie układów uporządkowanych topologicznie, z których będzie można w przyszłości zbudować topologiczny komputer kwantowy.

Aby adiabatyczny symulator kwantowy działał poprawnie, musi być zdolny na tyle wolno zmieniać swój hamiltonian, aby układ pozostał w swoim stanie podstawowym. To jest bardzo trudne do osiągnięcia w pobliżu kwantowych punktów krytycznych, gdzie stan podstawowy ulega gwałtownej jakościowej zmianie. Podczas takiej przemiany układ jest szczególnie wrażliwy na wpływy otoczenia jak i niedoskonałości swojej fizycznej implementacji. Celem tego projektu jest stworzenie i przetestowanie w symulatorze D-Wave teorii opisującej wpływ otoczenia na adiabatyczność ewolucji kwantowego symulatora. Taka teoria może pomóc w ulepszeniu kolejnych wersji D-Wave.