

Nieabelowy kwantowy porządek topologiczny i relacje fuzji w sieciach tensorowych.

mgr Anna Francuz

Instytut Fizyki Uniwersytetu Jagiellońskiego

Obecnie jednym z największych i najciekawszych zadań fizyki kwantowej, którym żyje cały świat poczynając od Google, czy IBM po każdego hobbyste śledzącego z zapalem postępy w dziedzinie kwantowych technologii, jest stworzenie komputera kwantowego, który poradziłby sobie z problemami nierozwiązywalnymi na największych klasycznych superkomputerach. Powstało już kilka pierwowzorów kwantowych komputerów, ale ich wspólnym problemem są błędy i dekoherencja, czyli szybkie tracenie kwantowych koherencji, które są właśnie odpowiedzialne za przyspieszenie rozwiązań pewnej klasy problemów. Zanim jednak jeszcze powstały pierwsze kwantowe komputery, zaczęto rozwijać teorię topologicznych kwantowych obliczeń, w których bramki logiczne byłyby wykonywane poprzez zaplatanie egzotycznych cząstek zwanych anionami. Aniony są kwazicząstkami, które występują jako elementarne wzbudzenia w efektywnie dwuwymiarowych stanach uporządkowanych topologicznie i nie są ani bozonami ani fermionami. To czy cząstka jest bozonem, fermionem czy anionem jest zdeterminowane przez ich statystykę, czyli przez fazę (lub nawet macierz mieszającą różne stany w przypadku tzw. nieabelowych anionów) jaką zyskuje stan układu po zamianie dwóch tych samych cząstek miejscami. Statystyki tych kwazicząstek są nielokalną analogią parametru porządku (z teorii Landaua przejść fazowych i łamania symetrii). Natomiast informacja zakodowana w takich stanach uporządkowanych topologicznie jest dużo bardziej odporna na dekoherencję, jest chroniona przez topologię, a korekcja błędów następowałaby już na poziomie 'hardware'. Występowanie anionów w przyrodzie zaobserwowano w zjawisku zwanym ułamkowym kwantowym efektem Halla (ang. Fractional Quantum Hall Effect), który opisany został pewną efektywną teorią. Jednak do zbudowania topologicznego komputera kwantowego potrzebna jest pełna kontrola oddziaływań w układzie, a zatem konieczne jest znalezienie realistycznych teoretycznych modeli posiadających uporządkowanie topologiczne i metody ich analizy.

Celem badań naukowych związanych z moim doktoratem jest rozwój zastosowań metod numerycznych do analizy układów charakteryzujących się uporządkowaniem topologicznym. Uporządkowanie topologiczne może występować w niektórych silnie skorelowanych układach kwantowych wielu ciał, co czyni je jednym z najciekawszych kierunków badań kwantowej fizyki wielu ciał. Modelowanie takich układów wymaga użycia stosunkowo nowych metod numerycznych – tzw. sieci tensorowych, które stanowią wariacyjny ansatz na stany podstawowe kwantowych Hamiltonianów (modeli opisujących oddziaływanie w kwantowym układzie). Przy użyciu jednowymiarowej sieci tensorowej MPS (matrix product states) i dwuwymiarowej PEPS (projected entangled pair states) możliwe jest znalezienie tych stanów podstawowych, oraz projektorów na stany minimalnie splątanie. Stany minimalnie splątane służą do wyliczenia statystyki cząstek, które są elementarnymi wzbudzeniami w danym modelu, a co za tym idzie, pozwalają na jednoznaczne zidentyfikowanie porządku topologicznego. Ponadto wykorzystanie sieci tensorowych pozwala na znalezienie jeszcze jednej niezwyklej własności anionów, ich relacji fuzji. Otóż okazuje się, że dwa aniony (różne lub takie same) mogą połączyć się ze sobą tworząc trzeci inny anion, jeżeli jest to dozwolone przez reguły fuzji. Znajomość statystyki anionów i ich relacji fuzji jest niezbędna do przeprowadzania topologicznych kwantowych obliczeń.