

Celem projektu jest zbadanie własności modelu Kitaeva-Heisenberga, ze szczególnym uwzględnieniem oryginalnego, dwuwymiarowego modelu oraz jego rozszerzonej wersji, najlepiej opisującej realistyczne kryształy. Rozstrzygając zarówno obecność jak i zakres występowania topologicznego nadprzewodnictwa w tym modelu, celem projektu jest dostarczenie nowych informacji, użytecznych dla przyszłych zastosowań w komputerach kwantowych. Projekt zakłada badanie kwantowego magnetyzmu z wykorzystaniem symulacji numerycznych.

Magnetyzm ma wpływ na nasze codzienne życie. Nawet nie wspominając o wielu skomplikowanych urządzeniach, każdy zetknął się z magnesami już jako dziecko, a dziś być może ma magnesy przyklejone na drzwiach lodówki. Zwykle, mikroskopowe byty, które rządzą magnetyzmem, nazywamy spinami. Ich obecność jest wewnętrzną cechą cząstek kwantowych, wynikającą bezpośrednio z fundamentalnych praw mechaniki kwantowej. Schematycznie przedstawia się je jako strzałki, posiadające określony kierunek i zwrot. W magnecie na lodówce te strzałki układają się równolegle (ten sam kierunek i zwrot), tak, że suma po wszystkich spinach, nazywana też magnetyzacją, nie wynosi zero. Jednak spiny mogą znajdować się również w innych konfiguracjach. Te konfiguracje, często nazywane fazami magnetycznymi, wynikają z mikroskopowych sił działających na spiny (oddziaływań). Oddziaływania mogą na przykład prowadzić do antyrównoległego ustawienia sąsiednich spinów. W takim przypadku magnetyzacja wynosi zero, więc ta faza magnetyczna nie daje się wykryć za pomocą makroskopowego pomiaru. Niemniej jednak, ponieważ w takiej konfiguracji - zwanej antyferromagnetyczną - istnieje niezmienny związek pomiędzy sąsiednimi spinami, można tę konfigurację wykryć za pośrednictwem specjalnie dobranych technik eksperymentalnych - na przykład za pośrednictwem nieelastycznego rozpraszania neutronów. Podczas gdy wyżej wymienione porządki magnetyczne można przeważnie w jasny sposób przewidzieć, w przypadku niektórych oddziaływań wydedukowanie porządku magnetycznego jest znacznie trudniejsze. Można na przykład rozważyć spiny, które mają tylko dwie dostępne orientacje, nazywane "górami" i "dół", rozmieszczone w rogach trójkąta oraz oddziaływanie antyferromagnetyczne, czyli przypadek w którym oddziaływania dążą do antyrównoległego ustawienia spinów. Możemy założyć, że pierwszy spin wskazuje w górę. W takiej sytuacji drugi będzie wskazywał w dół. Ale jak ustawi się trzeci? Nie może się równocześnie ustawić antyrównolegle do obydwu pozostałych spinów. Układy w których spiny poddawane są oddziaływaniom takim jak te opisane powyżej, prowadzącym do kilku różnych, równie pożądanym konfiguracji, nazywamy układami z frustracją. Ze względu na istnienie ogromnej liczby równoważnych energetycznie konfiguracji, opis takich układów jest zazwyczaj matematycznie skomplikowany, co zmusza nas do skorzystania z metod numerycznych w celu zrozumienia ich własności. W takich układach może występować wiele różnych faz magnetycznych. Jedną z najbardziej interesujących kategorii są tzw. cieczy spinowe. Są to fazy magnetyczne opisujące konfiguracje spinów charakteryzujące się brakiem jakiegokolwiek porządku.

Przykładem modelu w którym występuje ciecz spinowa jest tzw. model Kitajewa, wprowadzony przez A. Kitajewa w 2006 roku. Model ten można rozwiązać ściśle i charakteryzuje się on stanem podstawowym o własnościach cieczy spinowej. Ta konkretna ciecz spinowa jest szczególnie interesująca, ponieważ zawiera tzw. kwazicząstki Majorany, które są własnymi antycząstkami. Co więcej, odkryto że oddziaływania zawarte w modelu Kitajewa można znaleźć w realnych kryształach, gdzie współistnieją z innymi, tzw. oddziaływaniami Heisenberga. To właśnie oddziaływania Heisenberga obecne są w magnesach na lodówkę. Ze względu na współistnienie tych dwóch oddziaływań, model ten nazywamy modelem Kitajewa-Heisenberga. Własności tego modelu były przedmiotem szeroko zakrojonych badań. Stwierdzono też, że aby opisać rzeczywiste kryształy trzeba uwzględnić kolejne oddziaływania. Doprowadziło to do powstania tzw. rozszerzonego modelu Kitajewa-Heisenberga. Na polu eksperymentalnym, faza cieczy spinowej została zaobserwowana w zewnętrznym polu magnetycznym. Niemniej jednak, model ten wciąż nie został przebadany pod jednym kątem: co się stanie, jeśli usuniemy z niego część spinów i zastąpimy je poruszającymi się ładunkami? Część badań wskazuje, że w takim przypadku może być realizowany inny, specyficzny stan materii: nadprzewodnictwo. W nadprzewodnikach opór elektryczny spada do zera. W przypadku domieszkowanego modelu Kitajewa-Heisenberga stan o nadprzewodzącym charakterze zawiera dodatkową ciekawą cechę: jest on stanem topologicznym. Nadprzewodniki topologiczne cieszą się ogromnym zainteresowaniem, ponieważ mogą być wykorzystane do budowy komputerów kwantowych. Wynika to z faktu, że ich stany wzbudzone mogą pełnić w komputerach kwantowych rolę qbitów, odpowiedników bitów w klasycznych komputerach.