

Streszczenie rozprawy doktorskiej pt.

## **Przemiany fazowe ultrachłodnych bozonów w obecności pól cechowania**

mgr Konrad Patucha

Wrocław, 22 czerwca 2020

W niniejszej rozprawie doktorskiej zaprezentowane zostały wyniki badań dotyczących własności silnie oddziałujących bozonów w obecności pól cechowania. Eksperymentalna realizacja takich układów możliwa jest w sieciach optycznych wypełnionych atomami ultrazimnych gazów. Sieci optyczne stanowią wszechstronną platformę do kwantowych symulacji złożonych układów ciała stałego, gdzie rolę nośników prądu pełnią ultrachłodne atomy, a rolę potencjału krystalicznego – periodyczny potencjał sieci optycznej. Wysoki stopień kontroli ultrachłodnych atomów w sieciach optycznych pozwala na manipulację parametrami układu i osiąganie reżimów niedostępnych w typowych układach ciała stałego. Sieci optyczne charakteryzują się stosunkowo małą liczbą defektów, a ponadto są to układy izolowane, w których osiągnięte temperatury są wystarczająco niskie, aby możliwe było badanie kwantowych przejść fazowych. Jednak atomy ultrazimnych gazów będące odpowiednikami nośników prądu, są neutralne elektrycznie, co oznacza, że wpływ potencjałów elektrodynamicznych na nie musi zostać zasymulowany. Wykorzystywany w tym celu jest fakt, że w obecności pól cechowania funkcja falowa cząstki naładowanej nabiera dodatkowej fazy. Analogicznej modyfikacji funkcji falowej neutralnych atomów można dokonać m. in. dzięki inżynierii Floquet, która polega na periodycznym w czasie pobudzaniu układu. Dzięki temu w sieciach optycznych można badać układy silnie skorelowane o nietrywialnej topologii wykazujące egzotyczne własności fizyczne.

W granicy braku oddziaływań ultrachłodne atomy umieszczone w sieci optycznej mogą zostać opisane modelem ciasnego wiązania. Wpływ pól cechowania może zostać w tym modelu uwzględniony poprzez wprowadzenie dodatkowego czynnika fazowego przy przeskokach atomów między węzłami sieci. W niniejszej pracy wykorzystane zostały dwa szczególne przypadki tego modelu: model Harpera o fraktalnej strukturze energetycznej opisujący

sieć kwadratową w jednorodnym polu magnetycznym oraz model Haldane'a, w którym topologia struktury pasmowej zależy od parametrów modelu. Model ciasnego wiązania można rozszerzyć o oddziaływanie między atomami. Ze względu na silne zlokalizowanie stanów związanych z poszczególnymi węzłami sieci wpływ oddziaływania może zostać ograniczony do cząstek znajdujących się na tym samym węźle. W przypadku atomów o statystyce bozonowej prowadzi to do opisu zadanego modelem Bosego-Hubbarda. Model ten dobrze opisuje przejście fazowe między stanem nadciekłym a stanem izolatora Motta zachodzące w układach ultrachłodnych bozonów w sieciach optycznych. Jest ono wynikiem rywalizacji między energią kinetyczną a nawęzłowym oddziaływaniem odpychającym. W stanie nadciekłym układ wykazuje dalekozasięgową koherencję fazową, natomiast stan izolatorowy cechuje skończona przerwa energetyczna i zerowa ściśliwość. Obecność pól cechowania prowadzi do zmiany warunków, w których zachodzi przemiana fazowa. Ponadto ich wpływ objawia się również w zjawiskach transportowych. Oba te aspekty zostały w pracy przebadane z wykorzystaniem metody kwantowych rotatorów, która pozwala rozwiązać model Bosego-Hubbarda uwzględniając korelacje przestrzenne w stopniu wykraczającym poza przybliżenie pola średniego.