

Streszczenie rozprawy doktorskiej pt.

## Zjawiska transportowe w układach ultrachłodnych bozonów w sieciach optycznych

mgr Barbara Grygiel

Wrocław, 20 sierpnia 2019

Niniejsza rozprawa doktorska poświęcona jest zagadnieniom transportu w układach silnie oddziałujących bozonów w sieciach optycznych. Sieci optyczne powstają w wyniku interferencji światła z odpowiednio skonfigurowanych wiązek laserowych tworzących periodyczny potencjał. Umieszczony może zostać w nim kondensat Bosego-Einsteina uzyskany poprzez schłodzenie gazu bozonów, tj. cząstek opisanych statystyką Bosego-Einsteina, do temperatur bliskich zeru bezwzględemu ( $\sim 10^{-9}$  K). Układy takie mogą służyć jako kwantowe symulatory materiałów krystalicznych, gdzie rolę sieci krystalicznej odgrywa interferencyjny wzór światła laserowego, a rolę nośników prądu – atomy ultrazimnego gazu. Zaletami układów sieciowo-optycznych jest czystość, tj. niski poziom zdefektowania sieci, a także możliwość modyfikacji parametrów sieci, np. geometrii, wymiaru, czy głębokości potencjału węzłowego, oraz znaku i siły oddziaływań między atomami. Ponadto najnowsze osiągnięcia eksperymentalne w układach neutralnych zimnych atomów pozwalają na symulację efektów związanych z wpływem pola magnetycznego na ruch naładowanych elektrycznie cząstek (tzw. sztuczne pola magnetyczne) w reżimach niedostępnych w eksperymentach ciała stałego. W ciągu ostatnich kilku lat pojawiły się również prace, w których mierzone były własności transportowe układów zimnych gazów atomowych. Te osiągnięcia stały się motywacją do napisania niniejszej pracy.

Układ silnie oddziałujących bozonów umieszczonych w periodycznym potencjale sieci optycznej może zostać opisany za pomocą modelu Bosego-Hubbarda. Model ten przewiduje wystąpienie kwantowego przejścia fazowego (w zerowej temperaturze) między stanem nadciekłym a stanem izolatora Motta. Stan nadciekły to stan uporządkowany, w którym układ wykazuje dalekozasięgową koherencję fazową, a bozony są zdelokalizowane. Z drugiej strony, w stanie nieuporządkowanym (izolator Motta) koherencja fazowa za-

nika, a bozony lokalizują się na węzłach sieci. W tej pracy do rozwiązania modelu Bosego-Hubbarda użyto metody kwantowych rotatorów, która w przeciwieństwie do powszechnie stosowanych metod opartych o przybliżenie pola średniego uwzględnia korelacje przestrzenne i umożliwia zbadanie wpływu geometrii oraz wymiarowości sieci na funkcję korelacyjną prąd-prąd związaną z własnościami transportowymi. Ponadto metoda kwantowych rotatorów pozwala na uniwersalny opis badanego układu – zarówno w fazie nadciekłej, jak i w fazie izolatora Motta. To z kolei umożliwia zbadanie zachowania przewodności w szerokim zakresie parametrów modelu Bosego-Hubbarda, np. określenie przewodności uniwersalnej w układach dwuwymiarowych.

W pracy zbadano również, jak zachowuje się przewodność w przypadku układów o wielopasmowej strukturze energetycznej, która powstaje w wyniku obecności sieci z bazą, np. w przypadku wytworzenia sztucznego pola magnetycznego. Okazuje się, że w układach takich można wyróżnić dwa rodzaje kanałów przewodzenia – wewnątrz- oraz międzypasmowy. Ten drugi występuje tylko dla układów o wielopasmowej strukturze energetycznej i może dominować nad przewodnością wewnątrzpasmową nawet o kilka rzędów wielkości. Ponadto zbadano również wpływ temperatury na przewodność – różni się on jakościowo w zależności od fazy, w jakiej znajduje się układ. Przewodność międzypasmowa w niezerowej temperaturze wykazuje dodatkowe kanały przewodzenia związane ze sprzężeniem termicznie wzbudzonych kwazicząstek z zewnętrznym polem elektrycznym.