

## POPULARNONAUKOWE STRESZCZENIE PROJEKTU

Intrygujące właściwości ciał stałych były inspiracją dla wielu fundamentalnych koncepcji kwantowej mechaniki wielociałowej. Jednym z najważniejszych zagadnień są silne korelacje leżące u podstawy ekscytujących i często wciąż niezrozumiałych zjawisk, jak nadprzewodnictwo wysokotemperaturowe, kolosalny magnetoopor, etc. Teoretyczna analiza tych efektów jest zwykle mocno utrudniona przez złożoność struktury ciał stałych, komplikacje przy oddzieleniu od siebie różnych występujących jednocześnie i przenikających się zjawisk, czy obecność niedoskonałości materiałowych, które w nieprzewidywalny sposób modyfikują obserwowane wielkości.

Postęp badań nad metodami chłodzenia i kontrolowania gazów atomowych doprowadził do uzyskania kondensacji Bose-Einsteina oraz degeneracji Fermiego. Dalszy rozwój metod eksperymentalnych znacznie poszerzył zakres zjawisk, które mogą być obserwowane w ultrachłodnych gazach. Precyzyjne pułapkowanie atomów w sieciach optycznych – periodycznych potencjałach wytworzonych przez przecięcie przeciwbieżnych wiązek laserowych, których wymiarowość i geometria może być zmieniana w szerokim zakresie – pozwoliło na badanie właściwości ultrachłodnych gazów także w reżimie, w którym oddziaływania w nawet bardzo rozrzedzonej gazie, są silne. Eksperymentalne możliwości badania właściwości ultrachłodnych gazów w sieciach optycznych wykraczają jednak znacząco poza obserwację kwantowego przejścia fazowego w układzie o wysokim poziomie kontroli oddziaływań międzycząstkowych. Mimo że cząstki umieszczone w sieci optycznej są elektrycznie obojętne, możliwe jest nałożenie na nie dodatkowego potencjału zewnętrznego, który wymusi na nich zachowanie identyczne do zachowania naładowanych cząstek oddziałujących z zewnętrznym polem magnetycznym. W najprostszym przypadku potencjał ten może być wynikiem obrotu, w związku z formalnym podobieństwem pomiędzy siłą Lorentza, a siłą Coriolisa. Większy zakres kontroli można jednak uzyskać używając dodatkowych wiązek laserowych lub cyklicznego potrząsania siecią pozwalających na precyzyjną kontrolę tunelowania: koherentnego transferu atomów z wybranego stanu do innego. W efekcie możliwe jest uzyskanie szerokiego zakresu różnych zewnętrznych potencjałów pola magnetycznego.

W fizyce ciała stałego różne stany kwantowe są klasyfikowane poprzez zasadę spontanicznego łamania symetrii, z której wynika koncepcja parametru porządku. Dla każdego przejścia fazowego możliwe jest sformułowanie teorii (nazywanej ogólnie teorią Ginzburga-Landau'a), która jednoznacznie określa ona przez ogólne cechy układu, takie jak wymiar i symetria parametru porządku, prowadząc do uniwersalnego opisu kwantowych stanów materii. Jednak w roku 1980 odkryty został nowy stan, który nie pasował do tego prostego paradygmatu – w stanie kwantowego efektu Halla (QH) wewnątrz dwuwymiarowej próbki jest izolatorem podczas gdy prąd elektryczny jest przewodzony jedynie na jej brzegu. Ponadto przepływ prądu jest tam bezdysypatywny prowadząc do kwantowego efektu Halla. Stany QH były pierwszym przykładem stanów kwantowych, które są topologicznie różne od wszystkich innych znanych stanów materii. W ostatnich latach odkryto nową klasę materiałów: tzw. Izolatorów topologicznych. Materiały te charakteryzują się nietrywialnym stanem izolatorowym w swoim wnętrzu i stanami bezszczelinowymi na powierzchni.

Z teoretycznego punktu widzenia układy silnie skorelowanych ultrachłodnych atomów są wymagającym obiektem, jeżeli chodzi o analizę ich właściwości. Teoria opisująca je musi być bardzo elastyczna aby uwzględnić cechy sieci optycznych: łatwość modyfikacji oddziaływań międzycząsteczkowych, zmienną geometrię i wymiar sieci, obecność dodatkowych modyfikacji takich jak potencjały zewnętrzne oraz topologię naturalnych stopni swobody wyznaczających cechy kwantowego przejścia fazowego w układzie silnie skorelowanym. Teoria musi też umożliwiać wyznaczenie właściwości ultrachłodnych gazów, które mogą być zweryfikowane eksperymentalnie.

Niniejszy projekt jest motywowany rosnącym zainteresowaniem fazami topologicznymi i rolą topologii w kwantowych przejściach fazowych. Uniwersalna natura tychże faz i ich fascynujące właściwości wymagają zaawansowanych badań w modelowych układach takich jak sieci optyczne, w których możliwy jest wysoki poziom kontroli parametrów oraz bezpośrednia obserwacja zachodzących w nich zjawisk. Istotnym elementem jest też możliwość generowania różnych rodzajów potencjałów syntetycznego pola magnetycznego, które w połączeniu z odpowiednio zmodyfikowaną geometrią układów są niezbędne do pojawienia się faz topologicznych jednocześnie pozwalając na precyzyjną kontrolę właściwości stanu podstawowego układu.