

STRESZCZENIE

Praca doktorska rozpoczyna się od omówienia podstawowych zagadnień fizycznych związanych z układami hallowskimi. Należy do nich dynamika pojedynczego elektronu w polu magnetycznym oraz w skrzyżowanych polach magnetycznym i elektrycznym. Dynamikę przedstawiono w ujęciu klasycznym, jak również kwantowym. Co więcej, w rozprawie omówiono klasyczny efekt Halla przy pomocy prostego modelu transportu, tj. modelu Drude'go. Następnie, wyjaśniono relację między przewodnością i polem magnetycznym (tj. występowanie *plateau* przewodności poprzecznej oraz głębokich minimów przewodności podłużnej dla wybranych współczynników zapelnienia poziomów Landaua), która jest obserwowana w dwuwymiarowych układach oraz identyfikowana z kwantowym efektem Halla. W wyjaśnieniach uwzględniono techniczne aspekty pomiarów transportu, np. powstawanie obszarów o gwałtownie zmieniającym się potencjale, które skutkują wydostawaniem się nośników przez elektrody do pomiarów napięcia. Dodatkowo, przedstawiono najbardziej popularne teorie całkowitego oraz ułamkowego kwantowego efektu Halla, tj. model prądów brzegowych, argumenty Laughlina i Thoulessa oraz model złożonych fermionów. Podkreślono nierozwiązane problemy oraz konkluzje przedstawionych teorii, ponieważ stanowią one tło dla modelu podgrup cyklotronowych rozwijanego w rozprawie.

W zasadniczej części pracy doktorskiej wymieniono najważniejsze konsekwencje kwantowej nierozróżnialności cząstek. Przykładowo, konieczność definiowania przestrzeni konfiguracyjnej, Ω , jako zbioru warstw lub klas równoważności. Przedstawiono definicję grupy warkoczowej, $\pi_1^{QS}(\Omega)$, jak również związek jej jednowymiarowej unitarnej reprezentacji z fazą funkcji falowej, Ψ_N , nabieraną podczas zamiany argumentów. Następnie, zaprezentowany został model podgrup cyklotronowych opierający się na założeniu, że niektóre elementy pełnej grupy warkoczowej nie są poprawnie zdefiniowane w układach hallowskich. Założenie to można uzasadnić, korzystając z reprezentacji elementów $\pi_1^{QS}(\Omega)$ przy pomocy trajektorii możliwych w układzie klasycznym, które odpowiadają orbitom cyklotronowym o powierzchniach proporcjonalnych do energii kinetycznej. W konsekwencji, model podgrup cyklotronowych utożsamia nietypową statystykę złożonych fermionów (właściwie elektronów w reżimie kwantowego efektu Halla) z modyfikacją grupy warkoczowej, nie „przypinaniem” kwantów strumienia lub wirów do elektronów [Jain, 2007, Lopez and Fradkin, 1991]. Warto podkreślić, że modyfikacje $\pi_1^{QS}(\Omega)$ nie są dopuszczalne w przestrzeniach trójwymiarowych. Dzieje się tak, ponieważ podwójne pętle zakreślone w przestrzeni konfiguracyjnej należą do elementu neutralnego i $\pi_1^{QS}(\Omega)$ przyjmuje postać grupy permutacji. W pracy doktorskiej zdefiniowano również warunki współmierności gęstości cząstek oraz pola magnetycznego (właściwie powierzchni trajektorii cyklotronowej). Pozwalają one wyznaczyć współczynniki zapelnienia, ν , dla których istnieją kolektywne nieściśliwe stany. Zademonstrowano, że uzyskana hierarchia ν jest zgodna z obserwowaną w układach hallowskich (tj. determinowaną na podstawie *plateau* przewodności poprzecznej i głębokich minimów przewodności podłużnej). Warto

podkreślić, że hierarchia zawiera nie tylko współczynniki przewidziane przez model Jaina [Jain, 2007], lecz również współczynniki enigmatyczne [Pan et al., 2003, 2015, Samkharadze et al., 2015].

W rozprawie zapostulowano funkcje falowe dla układów hallowskich. Funkcje nie zawsze są antysymetryczne względem zamian dowolnych par argumentów. Jednakże, transformują się zgodnie z jednowymiarową unitarną reprezentacją grupy warkoczowej (tj. podgrupy cyklotronowej). Zmiana symetrii sygnalizuje wyodrębnienie się statystycznie skorelowanych podukładów hallowskich. Chcąc zweryfikować proponowane Ψ_N , wyznaczono wartości oczekiwane energii potencjalnej, gęstości oraz dwucząstkowych funkcji korelacji. W tym celu wykorzystano algorytm Metropolis Monte Carlo i przeprowadzono symulacje numeryczne w geometrii dysku bez potencjału ograniczającego. Dodatkowo wykazano, że wartości oczekiwane są ekwiwalentne do otrzymanych przy pomocy dokładnych diagonalizacji. Pozostają również w zgodzie z przewidywaniami modelu złożonych fermionów (niekiedy wartości oczekiwane są lepsze, np. wartość zysku energetycznego jest większa). W konsekwencji, model podgrup cyklotronowych pozwala wyjaśnić skuteczność modelu złożonych fermionów (tj. obrazka „przypinania” kwantów strumienia lub wirów) dla niektórych współczynników zapelnienia, jak również brak skuteczności dla innych (np. $\nu = \frac{4}{11}$).

W ostatniej części pracy doktorskiej zaproponowano nową metodę ujawniania korelacji w dowolnych układach wielocząstkowych. Metoda wykorzystuje technikę symulowanego wyżarzania oraz stopniowej poprawy w celu ustalenia globalnego maksimum $|\Psi_N|^2$ (tj. najbardziej prawdopodobnego układu położeń cząstek). Jednocześnie, autorska miara bliskości konfiguracji pozwala wyznaczyć konfiguracyjną gęstość prawdopodobieństwa, która determinuje selektywność $|\Psi_N|^2$. Opisane podejście zostało wykorzystane do scharakteryzowania korelacji w układach hallowskich. Przykładowo, pozwoliło na powiązanie parametrów występujących w warunkach współmierności z wartością oczekiwaną zysku energetycznego (przez analizę gęstości prawdopodobieństwa wystąpienia konfiguracji różnych od maksimum $|\Psi_N|^2$). W rezultacie, umożliwiło zilustrowanie skuteczności modelu podgrup cyklotronowych. Podejście posłużyło również do zidentyfikowania deformacji układów złożonych fermionów wywołanych przez operację rzutowania na najniższy poziom Landaua.