

Rozprawa doktorska pt.

## Fazy szkliste w układach oddziałujących bozonów z nieporządkiem

### STRESZCZENIE

W rozprawie sformułowano teoretyczny opis układu silnie oddziałujących bozonów w obecności nieporządku pozadiagonalnego, uzyskano jego diagram fazowy oraz scharakteryzowano znalezione fazy. Rozważany układ łączy w sobie dwa rodzaje uporządkowania – nadciekłość oraz szklistość – co pozwala na zbadanie zarówno faz zawierających każde z tych uporządkowań z osobna, jak i takiej, w której oba współistnieją.

Dwa pierwsze rozdziały rozprawy stanowią wprowadzenie do zagadnienia. W pierwszym przybliżony zostaje rozważany układ. Najpierw przedstawione są dwa filary – szkła spinowe i silnie oddziałujące bozony. Następnie przedyskutowane są możliwe sposoby połączenia ich cech w jednym układzie. W drugim rozdziale omówione są najważniejsze elementy teoretycznego opisu układu: teoria przejść fazowych Landaua, parametry porządku szklistości i nadciekłości oraz formalizm i wykorzystane metody analityczne.

W rozdziale trzecim przedstawione jest wyprowadzenie analityczne, w ramach którego energia swobodna układu jest przekształcona przy użyciu m.in. metody replik oraz metody Trottera-Suzuki. Uzyskana zostaje efektywna postać energii swobodnej, a z warunku jej minimalizacji – układ równań samozgodnych na wartości parametrów porządku oraz inne wielkości charakteryzujące układ. Wyprowadzenie przeprowadzone jest dwukrotnie – najpierw w uproszczonym modelu z zerową średnią całki przeskoku oraz zerowymi wartościami parametrów porządku (co wystarcza do opisu fazy nieuporządkowanej). Następnie – w pełnym modelu bez tych uproszczeń. Pierwsze podejście pozwala na skupienie uwagi na najważniejszych efektach wynikających z nieporządku (oraz na bardziej wydajne obliczenia numeryczne ze względu na prostotę modelu), drugie natomiast – na analizę faz zawierających nadciekłość (w tym na identyfikację nowej fazy szklisto-nadciekłej) oraz zbadanie wpływu wszystkich dostępnych parametrów na diagram fazowy.

Rozdział czwarty zawiera opis najważniejszych elementów adaptacji uzyskanych równań samozgodnych na potrzeby ich numerycznego rozwiązania. Uwagę poświęcono głównie zagadnieniu szybkiego obliczania średnich termodynamicznych. Przedstawiony jest dowód tego, że nie jest możliwe obliczenie tych średnich metodą Monte Carlo, przez co konieczne jest obliczenie sumy o liczbie składników rosnącej wykładniczo wraz ze wzrostem dokładności rozwiązania. Niemniej jednak symetrie zagadnienia pozwalają usprawnić to sumowanie.

Rozdział piąty poświęcono zagadnieniu stabilności rozwiązania symetrycznego w przestrzeni replik. Metoda replik jest jednym z narzędzi użytych przy analitycznym przekształcaniu energii swobodnej. Na pewnym etapie wyprowadzenia konieczne było założenie symetrii rozwiązania w przestrzeni replik. Z literatury dotyczącej szkieł spinowych wiadomo, że takie uproszczenie daje poprawne rozwiązanie w fazie bez porządku szklistego, ale odpowiada maksimum zamiast minimum energii swobodnej w obecności tego porządku. Choć uzyskanie rozwiązania pozbawionego symetrii jest trudne, samo sprawdzenie poprawności rozwiązania symetrycznego jest wykonalne. Taki test pozwala na wyznaczenie granicy pomiędzy porządkiem szklistym a jego brakiem również tam, gdzie nie jest to możliwe na podstawie teorii Landaua.

Ostatnie dwa rozdziały zawierają uzyskane wyniki numeryczne oraz ich analizę. W rozdziale szóstym zebrane są diagramy fazowe zarówno z modelu uproszczonego, jak i pełnego. Przedstawione są różne dwuwymiarowe przekroje, w tym ukazujące zależność od potencjału chemicznego, pozwalające odnieść się do literatury dotyczącej układów bozonów bez nieporządku oraz z nieporządkiem diagonalnym. Ponadto zaprezentowane są diagramy ukazujące zależność od temperatury pozwalające na zaobserwowanie kwantowego przejścia fazowego oraz na odniesienie do literatury dotyczącej szkieł spinowych. Rozdział siódmy poświęcony jest zaś wielkościom pozwalającym na charakteryzację uzyskanych faz. Składa się on z analizy: wartości parametrów porządku, w tym obserwacji antykorelacji parametrów porządku szklistości i nadciekłości w fazie szklisto-nadcieklej; dynamicznych funkcji korelacji, pozwalających ustalić obecność pamięci układu lub jej brak; ściśliwości, będącej typową wielkością używaną do charakteryzacji przejścia fazowego pomiędzy izolatorem Motta a fazą nadciekłą; jak również podatności parametru porządku oraz jej wykładnika krytycznego.

Rozprawę wieńczy podsumowanie, w którym wymieniono najważniejsze osiągnięcia opisane w rozprawie oraz zarysowano możliwe dalsze kierunki badań.