

Kraków, 10 listopad 2017 r.



UNIWERSYTET
JAGIELLOŃSKI
W KRAKOWIE

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr. Daniela Pęcaka

Pan Daniel Pęcak przygotował pracę doktorską pod kierunkiem dra hab. Tomasza Sowińskiego. Rozprawa nosi tytuł "Silnie skorelowane układy kilku ultrazimnych fermionów o różnych masach" i dotyczy w głównej mierze zjawisk związanych z przestrzenną separacją mieszanin kilku fermionów. Praca oparta jest na trzech artykułach opublikowanych w bardzo dobrych czasopiśmie oraz na jednej pracy zamieszczonej w bazie e-print:arXiv. Wyniki przedstawione w rozprawie dotyczą badań teoretycznych, ale w zakresie parametrów osiągalnych w laboratoriach ultrazimnych gazów atomowych.

Instytut Fizyki

imienia

Mariana Smoluchowskiego

Zakład Optyki Atomowej

Pierwszy rozdział rozprawy stanowi wprowadzenie w tematykę ultrazimnych gazów. W drugim Autor opisuje układ, którym będzie zajmował się w dalszej części pracy doktorskiej, a także wprowadza metody numeryczne stosowane w jego analizie. Poruszane zagadnienia są opisane bardzo starannie i klarownie, ale bywa, że dotyczą problemów podstawowych znanych z podręczników mechaniki kwantowej dla studentów. Domyślam się, że intencją Doktoranta było napisanie rozprawy, która stanowić będzie użyteczne źródło wiedzy również dla studentów i na pewno cel ten osiągnął.

W rozdziale trzecim Pan Daniel Pęcak analizuje separację środka masy układu wielu ciał od stopni swobody ruchu względnego w przypadku kiedy oddziałujące cząstki umieszczone są w pułapce harmoniczej. Jest to znane i dość standardowe zagadnienie. Najciekawszą częścią tego rozdziału jest dyskusja korelacji dwuciałowych. Drugi moment korelacji gęstości (3.14) jest niemalejącą funkcją współczynnika oddziaływań g , co wydaje się naturalnym, ponieważ Autor koncentruje się na oddziaływaniach odpychających. Interesującą obserwacją jest fakt istnienia kompletnie antysymetrycznych stanów, zwanych w rozprawie stanami Girardeau, dla których własności korelacji dwuciałowych nie zmieniają się z ze zmianą współczynnika g . Przygotowanie tych stanów w laboratorium, nawet dla niedużej liczby cząstek, stanowić może wyzwanie. Ciekawy jestem czy Autor ma w tym względzie jakiś pomysł dla eksperymentatorów?

Rozdział czwarty poświęcony jest analizie przestrzennej separacji różnego rodzaju fermionów. Zjawisko analizowane jest dla przypadków równych i różnych mas fermionów umieszczonych w potencjale harmonicznym lub w nieskończonej studni potencjału. Jeżeli rozważymy jedynie energię kinetyczną, to coraz lepsza lokalizacja gęstości składnika o większej masie powoduje znacznie mniejsze zwiększenie energii w porównaniu z lokalizacją składnika o mniejszej masie. Z drugiej strony w przypadku energii potencjalnej związanej z pułapką harmoniczną tendencja jest odwrotna. Efekty separacji faz indukowanej silnym odpychaniem między fermionami są szczegółowo dyskutowane i wyjaśnione zarówno dla stanu podstawowego układu kilku fermionów jak i w przypadku układu w stanie równowagi termodynamicznej.

ul. Reymonta 4

PL 30-059 Kraków

tel. +48(12) 663-57-79

fax +48(12) 633-84-94

e-mail:

krzysztof.sacha@uj.edu.pl

Kraków, 10 listopad 2017 r.



UNIwersytet
JAGIELLOŃSKI
W KRAKOWIE

Instytut Fizyki

imienia

Mariana Smoluchowskiego

Zakład Optyki Atomowej

Najciekawszą częścią rozprawy jest, w mojej opinii, rozdział piąty, w którym Pan Daniel Pęczak analizuje zmianę charakteru separacji przestrzennej mieszaniny fermionów w wyniku ciągłego przejścia pomiędzy pułapką harmoniczną, a potencjałem nieskończonej studni. Uważam, że odkrycie uniwersalnego charakteru przejścia pomiędzy stanami z lokalizacją ciężkich fermionów w centrum i na brzegach pułapki jest wynikiem bardzo ciekawym, tym bardziej, że Autor ma do czynienia z układem zaledwie kilku cząstek. Krytyczna wartość parametru kontrolnego zależy od liczby cząstek, ale wydaje się być praktycznie nieczuła na wartość współczynnika oddziaływania g . Szkoda, że Autor nie przeanalizował co dzieje się, kiedy liczba cząstek jest duża. Oczywiście w takim przypadku pełna diagonalizacja hamiltonianu nie może być zastosowana, ale np. metoda Hartree-Focka (patrz artykuł M.-I. Trappe i inni, Phys. Rev. A 93, 023612 (2016), gdzie również badane jest zjawisko separacji faz silnie odpychających się fermionów) powinna odpowiedzieć, czy uniwersalny charakter przejścia jest również obserwowany w granicy dużej liczby cząstek.

Separacja faz obserwowana przez Pana Daniela Pęczaka ma zawsze charakter symetryczny ze względu na odbicia względem centrum pułapki. Dla dużej liczby cząstek i przy dostatecznie silnym oddziaływaniu metoda Hartree-Focka przewiduje stany ze złamaną symetrią, patrz wspomniany artykuł M.-I. Trappe i inni. W pełni kwantowym opisie stany własne muszą spełniać wymogi symetrii, ale efekty niesymetrycznej separacji faz mogą wciąż objawić się, jeśli stan podstawowy jest niemal zdegenerowany i dla dużej liczby cząstek posiada własności stanu „kota Schrödingera”. Wówczas pomiar położenia pojedynczej cząstki łamie symetrię i układ ujawnia niesymetryczną separację faz. Analizując wyniki przedstawione w rozprawie wydaje mi się, że kandydatem na takie zachowanie mogą być stany podstawowe prezentowane na lewych górnych panelach rysunku 5.3 – poziom podstawowy w jednym z tych przypadków wydaje się być zdegenerowany jak ilustruje to dolny prawy panel rysunku 5.2. Szkoda, że Doktorant ograniczył się do analizy jedynie jednocząstkowych gęstości i nie przebadał korelacji wyższego rzędu. Szkoda również, że nie przedstawił szczegółów „metody kolapsu danych” użytej w wykazaniu własności skalowania podatności, równanie (5.13).

W ostatnim rozdziale analizowana jest metoda wariacyjna oparta o tzw. ansatz interpolacyjny, gdzie kombinacja stanów podstawowych dla dwóch skrajnych przypadków parametru oddziaływania wyznacza podprzestrzeń, w której szukana jest minimalna wartość energii. Otrzymane wyniki dla obserwabli jedno- i dwucząstkowych układu czterech fermionów całkiem dobrze zgadzają się z rezultatami ścisłymi w pełnym zakresie badanych oddziaływań. Sądzę, że wraz ze wzrostem liczby cząstek, zgodność dość szybko zacznie się pogarszać. Jak rozumiem bardzo trudno przeanalizować jak szybko, bo dodanie nawet kilku cząstek czyni pełną diagonalizację hamiltonianu niemożliwą do przeprowadzenia.

Jako pewien mankament przedstawionej rozprawy uważam brak odniesienia do ścisłych wyników, które można otrzymać przy użyciu metody Bethe-ansatz. Autor rozważa między innymi układ w obecności nieskończonej studni potencjału, a w takim przypadku można zastosować metodę Bethe-ansatz (patrz N. Oelkers i inni J. Phys. A 39 1073 (2006)). Również porównanie z wynikami ścisłymi dla układu jednorodnego

ul. Reymonta 4

PL 30-059 Kraków

tel. +48(12) 663-57-79

fax +48(12) 633-84-94

e-mail:

krzysztof.sacha@uj.edu.pl

Kraków, 10 listopad 2017 r.



UNIWERSYTET
JAGIELLOŃSKI
W KRAKOWIE

(periodyczne warunki brzegowe, patrz C. Rocher i H. Kohler, J. Stat. Phys. 147, 542 (2012)) powinno znaleźć się w rozprawie. Stany własne układu będą wówczas symetryczne ze względu na translacje, a przestrzenna separacja powinna objawiać się w spontanicznym łamaniu tej symetrii np. w wyniku pomiaru położenia cząstek.

Podsumowując, chciałbym podkreślić, że rozprawa napisana jest wyjątkowo starannie i czyta się ją z przyjemnością. Nie mam wątpliwości, że Autor dogłębnie rozumie rozważane zagadnienia i potrafi je klarownie przedstawić. Z teoretycznego punktu widzenia najciekawszą częścią pracy jest rozdział piąty, natomiast z eksperymentalnego wszystkie wyniki stanowią wskazówkę dla przyszłych doświadczeń. Wnoszę o dopuszczenie Pana Daniela Pęcaka do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Instytut Fizyki

imienia

Mariana Smoluchowskiego

Zakład Optyki Atomowej


Prof. Krzysztof Sacha

ul. Reymonta 4

PL 30-059 Kraków

tel. +48(12) 663-57-79

fax +48(12) 633-84-94

e-mail:

krzysztof.sacha@uj.edu.pl