



Recenzja rozprawy doktorskiej mgr. Tanausú Hernández Yanes

Mgr Tanausú Hernández Yanes przygotował rozprawę doktorską pt. „Practical Spin-Squeezing with Ultra-Cold Atoms in Optical Lattices” pod kierunkiem dr. hab. Emilii Witkowskiej. Rozprawa przedstawia teoretyczną analizę realizacji spinowych stanów ściśniętych w ultrazimnych atomach przygotowanych w potencjale sieci optycznej i bazuje na czterech opublikowanych artykułach (jeden w Phys. Rev. Lett., jeden w Phys. Rev. A, dwa Phys. Rev. B) oraz jednym manuskrypcie będącym obecnie w recenzji. Z załączonych oświadczeń wynika, że wiodący wkład doktoranta w otrzymanie wyników i przygotowanie artykułów jest bezsporny.

Pierwsze cztery rozdziały rozprawy są wprowadzeniem w tematykę badań prowadzonych przez doktoranta oraz opisem technik stosowanych w badaniach. Rozdziały te i zresztą całą pracę czyta się bardzo przyjemnie. Autor dba o precyzję języka i ciężko znaleźć nawet drobne redakcyjne potknięcia. Bardzo podoba mi się animacja wkomponowana w narożniki stron rozprawy.

W pracy doktorskiej pan Tanausú Hernández Yanes analizuje różne układy dwukomponentowych gazów ultrazimnych atomów redukując opis do modeli spinowych wprowadzonych przez Kitagawę i Uedę, które opisują tzw. jednoosiowe i dwuosiowe ściskanie.

Pierwszym analizowanym układem jest dwukomponentowy gaz bozonów w potencjale sieci optycznej z uwzględnieniem dipolowych oddziaływań w reżimie słabych oddziaływań (Rozdział 5). Bozony wykazują wówczas własności nadciekłe obsadzając stan o najniższej energii translacyjnych stopni swobody. Kontrola oddziaływań kontaktowych i dipolowych pozwala zrealizować ciągłe przejście między modelami jednoosiowego i dwuosiowego ściskania. Co ciekawe nawet w przypadku pośrednim można otrzymać optymalne skalowanie parametru ściskania, które dla modelu jednoosiowego nie jest osiągalne. Bardzo ładna analityczna analiza poparta jest ewidencją numeryczną. Sam pomysł zaprzęgnięcia oddziaływań dipolowych jest nowatorski. Nasuwają mi się dwa pytania. Pierwsze dotyczy przypadku otwartych warunków brzegowych. Autor słusznie zwraca uwagę, że stan o zerowym pędzie nie jest poprawnym modelem do opisu atomów, ale może stanowić dobre przybliżenie. Czy nie można było przeprowadzić analizy używając poprawnych modów spełniających otwarte warunki brzegowe, które są po prostu superpozycją modów o przeciwnych pędach? Drugie pytanie wiąże się z faktem, że straty atomów, które mogą wystąpić w eksperymencie byłyby zabójcze dla stanów ściśniętych. Współczynniki trójciałowych rekombinacji byłyby wyznaczane dla niektórych pierwiastków

ul. prof. Stanisława

Łojasiewicza 11

PL 30-348 Kraków

tel. +48(12) 664-47-79

e-mail:

krzysztof.sacha@uj.edu.pl

i znając gęstości atomów można porównać, jak mają się do siebie czasy życia kondensatów z czasami koniecznymi do osiągnięcia stanów ściśniętych?

Aby zredukować straty atomów, autor zmienia atomy bozonowe na fermionowe i analizuje efekty ściskania spinowego w reżimie izolatora Motta z pojedynczym obsadzeniem oczek sieci optycznej (Rozdział 6). Doktorant nadmienia, że nawet jeśli stan początkowy posiada podwójne obsadzenia oczek sieci to zostaną one usunięte w wyniku zderzeń atomów. Zastanawiam się czy rzeczywiście jest to możliwe, jeśli w podwójnie obsadzonych oczkach mamy do czynienia jedynie z dwuciałowymi zderzeniami?

Nowatorskim pomysłem jest użycie wiązki laserowej, która może zmieniać stan spinowy fermionów i pozwala zrealizować i kontrolować postać efektywnego modelu jednoosiowego i dwuosiowego ściskania spinowego. Efektywny model jest rezultatem drugiego rzędu rachunku zaburzeń poprawnego w granicy słabego tunelowania atomów między oczkami sieci optycznej oraz słabej wiązki laserowej. Ten nietrywialny rachunek został znakomicie przeprowadzony przez doktoranta.

Autor pisze, że przewidywane efekty ściskania spinowego mogą być zrealizowane w dzisiejszych laboratoriach. Skale energii wynikające z efektywnego hamiltonianu drugiego rzędu są niezwykle małe, a w konsekwencji ściskanie spinowe wymaga bardzo długiej ewolucji czasowej. Zastanawiam się na ile rzeczywiście można opisaną ściskanie spinowe przeprowadzić w eksperymentach?

Intrygującym problemem są różnice w zachowaniu układu w zależności od wyboru warunków brzegowych. Powszechna opinia głosi, że dla dużego układu różnice między okresowymi i otwartymi warunkami brzegowymi zacierają się. Intuicja podpowiada mi, że w badanym w rozprawie układzie kluczowym powodem różnic jest warunek nałożony na fazę wiązki laserowej, która dla otwartych warunków brzegowych może być dowolna. Zatem w przypadku otwartych warunków brzegowych dostajemy znacznie szerszy wachlarz możliwości niż w przypadku okresowych warunków brzegowych. Ciekawy jestem opinii doktoranta czy rzeczywiście jest to główny powód obserwowanych różnic?

Efekty ściskania spinowego w reżimie izolatora Motta są również analizowane dla bozonowych atomów (Rozdział 7), gdzie doktorant wykorzystuje różnice w oddziaływaniu kontaktowym różnych rodzajów atomów lub wprowadza niejednorodne pole magnetyczne. Rozważana perfekcyjna faza izolatora Motta odpowiada pojedynczym atomom w każdym oczku sieci optycznej. Obecność defektów w takiej idealnej strukturze generalnie prowadzi do

słabszych efektów ściskania spinowego, co szczególnie dotkliwie obserwowalne jest w przypadku, kiedy w ściskaniu wykorzystywane jest niejednorodne pole magnetyczne. Wiąże to się z tym, że fragmenty układu oddzielone defektami zaczynają ewoluować z różnymi fazami odpowiadającymi różnym wartościom niejednorodnego pola magnetycznego. Przedstawiona analiza jest ważna z eksperymentalnego punktu widzenia, ponieważ przygotowanie fazy izolatora Motta bez defektów może nie być łatwe w laboratorium.

Ostatnim zagadnieniem rozważanym w rozprawie jest związek między splątaniem w układzie wielu ciał i ściskaniem spinowym (Rozdział 8). Analizując ten problem autor wykorzystuje korelacje Bella, zakładając, że wielkościami mierzonymi są jednooczkowe obserwable i dwuoczkowe korelacje.

Podsumowując, mgr Tanausú Hernández Yanes przedstawił bardzo dobrą rozprawę doktorską. Dotyczy ona eksperymentalnie badanych układów i wytycza drogę do realizacji stanów ściśniętych spinowo w nowej klasie układów, tj. mieszanin ultrazimnych gazów atomowych w potencjałach sieci optycznych. Rozprawa zawiera bogaty zbiór wyników, ale nie tylko ilość jest wyjątkowa. Jakość badań jest również znakomita, czego potwierdzeniem są bardzo dobre czasopisma naukowe, w których wyniki zostały opublikowane wliczając prestiżowe czasopismo *Physical Review Letters*. Pan Tanausú Hernández Yanes jest świetnie zapowiadającym się młodym badaczem. Miał też okazję współpracować ze znakomitymi naukowcami. Nie mam wątpliwości, że rozprawa spełnia wszystkie wymagania stawiane pracom doktorskim.

Uważam również, że rozprawa doktorska zasługuje na wyróżnienie, bo jak wspominałem powyżej otwiera możliwości eksperymentalnej realizacji stanów ściśniętych spinowo w nowej klasie układów. Idea ta została doceniona przez recenzentów i redaktorów znakomitego czasopisma *Physical Review Letters*, gdzie część wyników przedstawionych w pracy doktorskiej została opublikowana.

Prof. Krzysztof Sacha