Kraków, 19.04.2023

UNIWERSYTET
JAGIELLOŃSKI
W KRAKOWIE

Instytut
Fizyki Teoretycznej
Zakład Optyki Atomowej

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr. Jarosława Ryszkiewicza

Mgr Jarosław Ryszkiewicz przygotował rozprawę doktorską na Uniwersytecie w Białymstoku pod kierunkiem dr. hab. Tomasza Karpiuka. Rozprawa nosi tytuł „Dynamika dwuskładnikowego wzajemnie odpychającego się gazu fermionów w skończonej temperaturze" i bazuje na dwóch artykułach opublikowanych w Physical Review A, w których doktorant jest pierwszym autorem.

Pan Jarosław Ryszkiewicz pracował pod kierunkiem dr. Tomasza Karpiuka oraz we współpracy z prof. Mirosławem Brewczykiem, którzy od wielu lat rozwijają metody opisu ultra-zimnych gazów atomowych. Wypracowane metody oraz unikalne doświadczenie białostockich teoretyków pozwalają opisywać rzeczywiste warunki eksperymentalne oraz ilościowo porównywać przewidywania teoretyczne z rezultatami otrzymanymi w laboratoriach.

Głównym celem rozprawy doktorskiej było teoretyczne opisanie eksperymentu przeprowadzonego w 2017 roku w grupie Giacomo Roati'ego we Florencji, demonstrującego po raz pierwszy niestabilność Stonera w tworzeniu domen magnetycznych. Rozprawa jest krótka, ale treściwa i w pełni wywiązuje się z postawionego zadania. Właściwa część pracy doktorskiej poprzedzona jest: wstępem, krótkim teoretycznym opisem ferromagnetyzmu i niestabilności Stonera oraz omówieniem wyników florenckiego eksperymentu. Pan Jarosław Ryszkiewicz stosuje dwie metody do opisu eksperymentu: model orbitalowy oraz model hydrodynamiczny. W obu przypadkach, wprowadza poprawki uwzględniające wielociałowe korelacje w mieszaninie ultra-zimnych gazów fermionowych.

W modelu orbitalowym możliwe jest opisanie jedynie niedużej liczby fermionów – znacznie mniejszej niż liczba atomów badana w eksperymencie. Okazuje się jednak, że mimo niedużej liczby fermionów doktorant uzyskał znakomitą zgodność teoretycznych rezultatów z eksperymentalnymi. W eksperymencie badane były oscylacje dwóch chmur fermionowych scharakteryzowanych różnymi stanami spinowymi w zależności od siły wzajemnego odpychającego oddziaływania między nimi i w zależności od temperatury. O ile opis teoretyczny eksperymentu w granicy zerowej temperatury został opublikowany wcześniej przez dr. Tomasza Karpiuka i prof. Mirosława Brewczyka wraz ze współpracownikami, to pan Jarosław Ryszkiewicz przeprowadził pełną teoretyczną analizę pokazującą jakie

ul. prof. Stanisława
Łojasiewicza 11
PL 30-348 Kraków
tel. +48(12) 664-47-79
e-mail:
krzysztof.sacha@uj.edu.pl

własności układu zależą i w jaki sposób od temperatury. Jak już wspomniałem wyniki znakomicie zgadzają się wynikami doświadczalnymi. Doktorant podkreśla jednak, że czas życia stanu ferromagnetycznego w eksperymencie był skończony, a opis teoretyczny nie przewiduje tego. Z podobną sytuacją mamy do czynienia w przypadku modelu hydrodynamicznego opisanego w drugiej części doktoratu. Nie znalazłem jednak w pracy doktorskiej wyjaśnienia powodów eksperymentalnych odpowiedzialnych za wspomnianą niezgodność.

Formowanie domen magnetycznych w analizowanej mieszaninie fermionów odpowiada de facto zjawisku przestrzennej separacji faz. Nasuwa mi się pytanie jak w podobnym eksperymencie zachowywałyby się bozony? Oczywiście ilościowe porównanie bozonów i fermionów nie ma sensu, ale jakościowo w obu przypadkach możemy mieć do czynienia ze zjawiskiem separacji faz co powoduje, że częstość oscylacji środków mas dwóch chmur bozonowych też powinna wykazywać zmianę dla pewnej krytycznej wartości siły wzajemnego odpychania.

Model hydrodynamiczny jest drugą metodą opisu eksperymentu, którą stosuje pan Jarosław Ryszkiewicz. Model hydrodynamiczny jest bardzo klarownie i systematycznie opisany w rozprawie. Model wprowadza szereg przybliżeń, ale pozwala opisać układy fermionowe z liczbą cząstek odpowiadającą sytuacji eksperymentalnej. Pozwala również przeanalizować jakie wielkości zależą od liczby fermionów w przypadku niezerowych temperatur. Częstości oscylacji chmur fermionowych i diagram fazowy praktycznie nie ulegają zmianie przy zmianie ilości cząstek, ale rozmiar strefy przejściowej między fazą paramagnetyczną i ferromagnetyczną już tak. Tłumienie oscylacji chmur w obszarze krytycznym również zależy od liczby cząstek i jest istotnie różne od wyników modelu orbitalowego – rysunki 4.10 i 5.5. W rozprawie nie znalazłem informacji, które wyniki ilościowo są bliższe eksperymentalnym?

W ostatniej części rozprawy, pan Jarosław Ryszkiewicz analizuje sferycznie symetryczne wzbudzenia mieszaniny słabo oddziałujących fermionów w sferycznie symetrycznej pułapce dla różnych temperatur. Okazuje się, że częstość modu monopolowego nie zależy od liczby fermionów w układzie. Dla wysokich temperatur doktorant przedstawia analityczny opis częstości oscylacji, który znakomicie odtwarza wyniki numeryczne. Zastanawiam się czy numeryczne symulacje zostały przeprowadzone wykorzystując symetrię układu, tzn. w zmiennych sferycznych? Byłoby to naturalne podejście, ale nie pozwala ono wyciągnąć żadnych wniosków na

temat stabilności modów sferycznie symetrycznych. Czy badana była stabilność modu monopolowego?

Rozprawa doktorska pana Jarosława Ryszkiewicza jest napisana bardzo starannie, precyzyjnym językiem, czyta się ją z przyjemnością. Nie mam żadnych uwag edytorskich, może z wyjątkiem rysunków 4.10 i 5.6, które zawierają dużo różnych rozproszonych danych i są mało czytelne. Celem pracy było ilościowe opisanie doświadczenia przeprowadzonego we Florencji i cel ten został znakomicie osiągnięty. Bardzo mocno chciałbym podkreślić, że w pełni ilościowe symulacje eksperymentów należą do rzadkości i są możliwe tylko w nielicznych grupach teoretycznych. Myślę, że doświadczenie zdobyte przez pana Jarosława Ryszkiewicza w czasie studiów doktoranckich będzie procentować w dalszej pracy naukowej.

Podsumowując, rozprawa doktorska spełnia wymogi stawiane pracom doktorskim i wnoszę o dopuszczenie pana Jarosława Ryszkiewicza do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Prof. Krzysztof Sacha