

Warszawa, 15 listopada 2010 r.

Prof. dr hab. Jan Mostowski
Instytut Fizyki PAN
Warszawa

Recenzja pracy doktorskiej mgr Tomasza Świsłockiego pt. „Wpływ oddziaływań dipolowych na własności spinorowego kondensatu rubidowego”

Praca doktorska mgr Tomasza Świsłockiego liczy 59 stron, podzielona jest na 6 rozdziałów, spis literatury liczy 73 pozycje. Praca została wykonana pod kierunkiem prof. Mariusza Gajdy.

Praca doktorska oparta jest o 2 oryginalne artykuły naukowe opublikowane w roku 2010.

Tematem pracy jest badanie teoretyczne i numeryczne właściwości tak zwanych spinorowych kondensatów Bosego-Einsteina. W tych układach atomy tworzące kondensat mogą występować w kilku, na przykład trzech, stanach różniących się całkowitym momentem pędu. Autor nazywa te stany spinowymi stanami swobody.

Do opisu oddziaływania wzajemnego atomów w kondensatach na ogół wystarcza przybliżenie zerowego zasięgu. To oddziaływanie jest podstawą równania Grossa –

Pitajevskiego, szeroko używanego w opisie kondensatów. Jednakże atomy mogą oddziaływać na siebie również siłami o dłuższym zasięgu, na przykład pochodzącymi od magnetycznych momentów dipolowych. Takie oddziaływanie może istnieć w kondensatach spinorowych, gdy poszczególne atomy mogą znajdować się w stanach o różnych rzutach momentu pędu. Taka sytuacja może istnieć tylko w pułapce dipolowej, która w przeciwieństwie do pułapki magnetycznej zezwala na istnienie kondensatów spinorowych.

Autor słusznie zwrócił już na wstępie uwagę na to, że oddziaływanie magnetyczne atomów w kondensacie jest znacznie słabsze niż oddziaływanie kontaktowe. Nawet w przypadku kondensatów z atomów chromu, atomów z dużym momentem giromagnetycznym, oddziaływanie magnetyczne jest słabe. W przypadku kondensatów rubinowych jest ono jeszcze wielokrotnie słabsze. Autor stwierdził więc, nie bez racji, że oddziaływania magnetyczne mogą mieć znaczenie jedynie w warunkach rezonansu. Ta analiza, jak również metody wytwarzania kondensatów spinorowych oraz podstawowe równania opisujące kondensat są treścią rozdziału drugiego. Ten rozdział stanowi wstęp do opisu własnych rezultatów autora przedstawionych w dalszych rozdziałach.

Rozdział 3 opisuje procesy termalizacji atomów w różnych stanach spinowych. Jako stan początkowy autor przyjął stan w którym obsadzony jest jedynie składnik z zerową liczbą magnetyczną $M=0$, składniki z $M=+1$ i $M=-1$ nie są obsadzone. W stanie równowagi obsadzenie wszystkich wymienionych stanów powinno być identyczne. W pracy badana jest dynamika przejścia do stanu równowagi. Autor stwierdził, że proces osiągnięcia stanu

równowagi jest istotnie zmodyfikowany przez oddziaływania dipolowe. Jest tak dlatego, że w wyniku silniejszych oddziaływań kontaktowych tworzą się domeny spinowe.

Oddziaływanie spinów z różnych domen jest bardzo słabe (oddziaływania kontaktowe mają bardzo krótki zasięg), dominują więc oddziaływania dipolowe. Pokazane zostało, że oddziaływania dipolowe znacząco przyspieszają dochodzenie do stanu równowagi. Należy stwierdzić, że podana tu analiza jest pierwszym ilościowym podejściem do zagadnienia dynamiki stanów spinowych. Wyniki te zostały opublikowane w roku 2010.

Ciekawe są też uwagi dotyczące powstawania struktur spinowych w obecności pola magnetycznego. Autor stwierdził, że oddziaływania dipolowe mają większego znaczenia w powstawaniu tych struktur. Można tylko żałować, że te zjawiska potraktowane są w pracy pobieżnie.

Bardzo ciekawa analiza fizyczna podana jest w rozdziale 4 dotyczącym zjawiska Einsteina – de Haasa. Klasyczne zjawisko Einsteina-de Haasa polega na przekazywaniu momentu pędu pomiędzy spinowym i makroskopowym momentem pędu przy magnesowaniu układu. Analogiem tego zjawiska jest przekazywanie momentu pędu pomiędzy stanami wewnętrznymi atomów tworzących kondensat a makroskopowym momentem pędu kondensatu jako całości.

Przekazywanie momentu pędu jest wynikiem oddziaływań dipolowych. Jak wspomniano, oddziaływania te są słabe, dlatego wydajny przekaz momentu pędu może nastąpić jedynie w warunkach rezonansu. Takie rezonanse powstają wtedy, gdy różnice energii

poszczególnych stanów spinowych, zależnych od pola magnetycznego, są równe różnicy poziomów energetycznych stanów środka masy kondensatu w pułapce. A więc dobierając rezonansową wartość pola magnetycznego można uzyskać przekaz momentu pędu od wewnętrznych stopni swobody do ruchu środka masy. W ten sposób kondensat uzyskuje makroskopowy moment pędu.

Ten mechanizm powstawania makroskopowego momentu pędu, czyli wirów, w kondensacie został dokładnie zbadany przez autora. Autor podał i przedyskutował dokładne warunki, w których wystąpią różne rodzaje wirów.

Jest to moim zdaniem bardzo ważny wynik. Dotychczas nie był znany taki sposób przekazu momentu pędu pomiędzy wewnętrznymi stopniami swobody i ruchem środka masy. Nad przeprowadzeniem takich doświadczeń pracuje kilka grup doświadczalnych.

Ostatni, piąty rozdział dotyczy kondensatów w sieci optycznej. Sieć optyczna stwarza cały szereg możliwości modyfikowania właściwości kondensatów. Wiele związanych z tym zjawisk zostało zbadanych w ostatnich latach, dotyczyły one kondensatów bez spinowych stopni swobody. Kondensaty spinorowe w sieci optycznej to zupełnie nowa dziedzina.

Autor rozważał niewielkie układy atomów rubidu ze spinowymi stopniami swobody w sieci optycznej. Każdy z atomów znajdował się w osobnej studni potencjału i w stałym jednorodnym polu magnetycznym. Oddziaływanie dipolowe powodowało sprzężenie funkcji falowych poszczególnych atomów i możliwe przejścia pomiędzy stanami o różnych

spinach. Dodatkowym parametrem jest głębokość poszczególnych studni potencjału, co przekłada się na łatwe lub trudne tunelowanie pomiędzy studniami. Autor przedyskutował możliwe stany takiego układu. Okazało się, że możliwe są zarówno stany z wirami w każdej jamie potencjału jak i stany z jednym wspólnym wirem. Zbadanie przejścia pomiędzy tymi stanami jest bardzo ciekawym elementem pracy.

Analiza spójnych stanów kilku atomów w sieci optycznej jest bardzo obiecująca.

Rozważany układ jest ciekawy, może być modelem wielu zjawisk fizycznych. Niestety możliwość doświadczalnego zrealizowania rozważanych efektów wydaje się dość odległa.

Metodą badawczą którą posługiwał się mgr Świsłocki jest analiza numeryczna. Autor opisywał układ atomów za pomocą uogólnień równania Grossa – Pitajevskiego na przypadek kondensatu wieloskładnikowego. Temperatura układu została uwzględniona za pomocą tak zwanej metody pół klasycznych, która już poprzednio okazała się bardzo skuteczna. Takie podejście wymaga dużych obliczeń numerycznych. Pan Świsłocki potrafił wykorzystać wyniki numeryczne do dokładnej analizy, umiał też podać jakościową analizę bez użycia aparatu numerycznego. Sprawia to bardzo dobre wrażenie. Dlatego uważam pracę pana mgr Świsłockiego za bardzo dobrą, świadczy ona o głębokim zrozumieniu zjawisk fizycznych przez Autora.

W sumie praca doktorska mgr Tomasza Świsłockiego dotyczy bardzo aktualnych zagadnień fizyki kondensatów. Analizowane są zjawiska i procesy, które są aktualnym tematem badań teoretycznych i doświadczalnych w czołowych ośrodkach. Autor przyczynił

się w znaczący sposób do rozwoju nowoczesnej dziedziny fizyki.

Praca napisana jest dobrze i przejrzystie. Kilka drobnych błędów i niekonsekwencji, jakie znalazłem w pracy, nie jest na tyle istotne, żeby pisać o nich w recenzji.

Stwierdzam, że praca doktorska pana mgr. Tomasza Świślockiego „Wpływ oddziaływań dipolowych na własności spinorowego kondensatu rubidowego” spełnia wszelkie warunki stawiane pracom doktorskim. Stawiam wniosek o dopuszczenie Autora do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Jan Mostowski