



**Prof. dr hab. Marek Trippenbach**

ul. Hoża 69, 00-681 Warszawa,  
tel.: (22) 55 32 123  
faks: (22) 55 32 333  
email: [matri@fuw.edu.pl](mailto:matri@fuw.edu.pl)

---

Warszawa, 15 października 2013.

**Recenzja rozprawy doktorskiej mgr Joanny Pietraszewicz  
z tytułem „Ultra zimne atomy bozonowe ze słabym  
magnetycznym oddziaływaniem dipolowym w sieciach  
optycznych”**

Przedmiotem rozprawy doktorskiej pani mgr Joanny Pietraszewicz z tytułem „Ultra zimne atomy bozonowe ze słabym magnetycznym oddziaływaniem dipolowym w sieciach optycznych” jest badanie wpływu krótko i długo-zasięgowych oddziaływań zimnych atomów chromu na ich dynamikę w obecności potencjału sieci optycznej. Rezultatem badań są dwie publikacje opublikowane w Physical Review A. Praca została napisana pod opieką profesora Mariusza Gajdy, w Instytucie Fizyki Polskiej Akademii Nauk w Warszawie, promotorem pomocniczym był dr Tomasz Sowiński. Praca składa się z pięciu rozdziałów, podsumowania i trzech Dodatków. Temat całej pracy jest bardzo aktualny, a praca zawiera nowe, oryginalne wyniki stanowiące ciekawy wkład do rozwoju interesującej i obecnie intensywnie rozwijającej się dziedziny fizyki, jaką jest fizyka zimnych atomów, a w szczególności jej działy dotyczące siatek optycznych oraz dipolowych oddziaływań magnetycznych.

Przystąpię teraz do szczegółowego omówienia zasadniczych części rozprawy.

Rozdział pierwszy stanowi ogólne wprowadzenie do tematyki kondensatów spinorowych i oddziaływań dipolowych. Jest to też krótki przewodnik po rozprawie zakończony opisem „organizacji rozprawy”.

Rozdziały drugi i trzeci mają charakter wstępu i opisu dwóch najważniejszych pojęć, które znajdują zastosowanie w pracy. Są to oddziaływania dwuciałowe oraz sieci optyczne. W pracy mamy do czynienia z atomami chromu, które mają niezerowy moment magnetyczny. Do ich opisu musimy zatem wprowadzić spinorowe oddziaływania kontaktowe oraz oddziaływania dipolowe. Moim zdaniem ta część jest napisana przejrzysto, choć autorka nie ustrzegła się pewnych nieścisłości i przejęzyczeń. Te zresztą powtarzają się w każdej części pracy. Podam kilka przykładów:

1. „Dalekozasięgowe oddziaływania dipolowe, choć dotychczas zaniebdywane, w końcu zaczęto traktować jako znaczące i ciekawe.”

2. „Oddziaływania kontaktowe, w porównaniu do energii dipolowej, wnoszą do układu duży wkład energetyczny. ... Co więcej spontanicznie inicjują dynamikę spinu i to bez względu na obecność pola magnetycznego.”

3. „Oddziaływanie kontaktowe zależne od spinu w niektórych układach może wywołać dynamikę spinu. Wdzięcznym przykładem jest układ dwóch atomów chromu.”

W rozdziale 3 dotyczącym siatek optycznych również napotykamy cały szereg podobnych drobnych „potknięć”. Mowa jest na przykład o głębokości barier optycznych, wektor falowy posiada skończone wartości w obrębie pierwszej strefy Brillouina, czy odwołanie do rysunku (3.6.1).

W sumie w rozdziale tym są zawarte wszystkie potrzebne i najistotniejsze informacje na temat siatek optycznych i zwracam uwagę na „drobne potknięcia”, wymieniając jedynie niektóre, ponieważ jest ich moim zdaniem dosyć dużo, i znajdują się praktycznie w każdym

rozdziale rozprawy. Dlatego w swoich uwagach na ten temat postaram się w dalszej części ograniczyć się do minimum.

Rozdział czwarty jest zatytułowany „Dynamika spinu” i wprowadza nas w zagadnienia, którymi autorka rozprawy zajmowała się w swoich badaniach. Są to wyniki badań dynamiki spinu dla różnych potencjałów pułapkujących i różnej ilości atomów. Rozważania ograniczają się do dwóch oczek siatki (paragraf 4.1) oraz pojedynczego oczka sieci w zewnętrznym polu magnetycznym (paragraf 4.2). W przypadku dwóch oczek siatki badana jest dynamika w przypadku 2, 4 i 6 atomów. Badana dynamika dotyczy przypadku, gdy atomy znajdowały się początkowo w stanie o  $m_s = 2$ . Jeśli mamy dwa atomy (po jednym na oczko sieci) i słabe tunelowanie, dynamika jest rządzona wyłącznie przez oddziaływania dipolowe. W przypadku, gdy zwiększa się liczba atomów zaczynają dominować oddziaływania kontaktowe. Zmienia się też skala czasowa, na której zachodzą zmiany w układzie. Dodatkowo autorka wykorzystuje możliwość „włączania” i „wyłączania” różnego typu oddziaływań poprzez pomijanie w rachunkach numerycznych poszczególnych części Hamiltonianu oddziaływania. Całość stanowi dla mnie pewien rodzaj „rozgrzewki numerycznej”, choć mają też znaczenie w tym sensie, że po podstawieniu stałych liczbowych otrzymujemy skale czasowe, które mogą być mierzone w eksperymencie.

W drugiej części tego rozdziału pojawiają się rozważania dotyczące dynamiki w jednym oczku sieci, za to z udziałem zewnętrznego pola magnetycznego. Celem badań jest moim zdaniem wyznaczenie rezonansowej dynamiki układu dwóch atomów chromu. Na samym początku rozdziału czytamy, że: „od tego momentu będę się posługiwać bezwymiarowymi wielkościami”, po czym konsekwentnie autorka oblicza wszystkie parametry w jednostkach SI! Nie rozumiem też stwierdzenia „Postać energii własnej wynika głównie z tego, że każdy rezonans efektywnie jest układem dwupoziomowym” Miejscami język autorki sprawia, że nie do końca rozumiem jej intencje. Tym niemniej mam nadzieję, że poprawnie zrozumiałem wnioski. Autorka bada dwa rodzaje wzbudzeń dipolowych; o  $\Delta M_z = 1$  oraz  $\Delta M_z = 2$ . Startuje zawsze ze stanu początkowego, w którym oba atomy znajdują się w stanie  $m_s = 3$ . Okazało się, że te wzbudzenia zależą silnie od kształtu potencjału pułapkującego, W rezultacie w sieci optycznej nie można zrealizować eksperymentu Einsteina de Haasa. Nie

można też obserwować wirów. Rezonanse są bardzo czule na kształt pułapkującego potencjału. Są zatem bardzo czułym narzędziem doświadczalnym. Na końcu rozdziału znajdują się rozważania stanowiące odniesienie do konkretnego eksperymentu. Przy pomocy obliczeń wykonanych przez pani mgr. Pietraszewicz można dokonać analizy danych eksperymentalnych. Jak widać cały szereg rezonansów pojawiających się w eksperymencie można przypisać konkretnym wzbudzeniom. W tym rozdziale znalazłem kilka usterek edytorskich oraz kilka zdań nie do końca precyzyjnych w stylu: „W takim potencjale kierunek z separuje się niezależnie od współrzędnych  $x$  i  $y$ .”, ale moim zdaniem rozdział napisany jest dosyć przejrzysto, wyniki badań są bardzo ciekawe (zostały opublikowane w pracy w PRA), a odniesienie do eksperymentu jeszcze znacznie podwyższa ich wartość.

Ostatni, piąty rozdział rozprawy omawia dwuskładnikowy model Bosego Hubbarda. Dwa składniki magnetyczne  $m_s=3$  i  $m_s=2$  są ze sobą sprzężone oddziaływaniem dipolowym. Rozważania w tym rozdziale rozpoczynają się od przeanalizowania modelu jednoskładnikowego z oddziaływaniem kontaktowym i podsumowaniem wyników przejścia fazowego z fazy nadciekłej do fazy izolatora Motta. Jako metodę badań zaproponowano metodę Fishera. Moim zdaniem ta część jest napisana bardzo przejrzysto i dydaktycznie.

Posługując się podobnymi metodami w dalszej części rozdziału piątego autorka skonstruowała diagram fazowy dla przypadku dwuskładnikowego w kwadratowej sieci optycznej, wyodrębniła dwie nowe egzotyczne fazy i zbadała przejścia fazowe. Na diagramie, w zależności od amplitudy sieci optycznej, pojawiają się trzy typy faz: izolatora Motta, faza MS (superpozycja fazy Motta w jednym składniku oraz fazy nadciekłej w drugim), oraz fazy, w której oba składniki są w fazie nadciekłej. Odpowiedni dobór pola magnetycznego prowadzi do rezonansu między stanem o  $m_s=3$  i momencie pędu  $L=0$  oraz  $m_s=2$  i  $L=1$ .

Wyniki badań opisane w tym rozdziale wydają mi się bardzo ciekawe i zostały opublikowane w pracy, która ukazała się w Physical Review A. Ten rozdział w moim mniemaniu ma najwyższą wartość naukową i prezentuje najambitniejsze badania stanowiące uogólnienie znanych wyników dotyczących przejścia fazowego faza nadciekła – izolator Motta na przypadek dwuskładnikowy. Możliwe, że w niedalekiej przyszłości zostanie

potwierdzona eksperymentalnie. Prawdopodobnie realizacja eksperymentalna odkrytych faz nie będzie prosta, ale w dziedzinie zimnych atomów techniki doświadczalne są bardzo wyrafinowane.

W podsumowaniu stwierdzam, że praca zawiera bardzo ciekawe wyniki badań i ma bezpośrednie odniesienie do prac doświadczalnych. Z naukowego punktu widzenia badania stanowią bardzo ciekawy i ambitny program badawczy, który wyśmienicie nadaje się na pracę doktorską. Autorka w moim mniemaniu wykazała się zrozumieniem omawianych zjawisk i biegłość w obliczeniach numerycznych. Zrobiłem w mojej recenzji kilka uwag do błędów językowych i edytorskich i przejęczyzeń. Styl w niektórych miejscach jest trochę poetycki, i myślę, że pani Joanna powinna bardziej dbać o ścisłość wypowiedzi. Jestem pewny, że autorka w przyszłości „wyszlifuje” swój styl. Obserwowałem jej rozwój naukowy i z dużą satysfakcją mogę stwierdzić, że na przykład styl wygłaszania seminariów potrafiła „wyszlifować” znakomicie! Wysoko oceniam dbałość pani Joanny o szacowanie wartości parametrów fizycznych, które używa w swoich obliczeniach. Stwarza to możliwość odnoszenia się bezpośrednio do eksperymentu. Jak zorientowałem się podczas lektury rozprawy autorka ma już doświadczenie we współpracy z grupami eksperymentalnymi i jej badania są niejednokrotnie motywowane konkretnymi pomiarami.

Całość pracy jest zrozumiała, a materiał w niej zawarty jest nowatorski i znalazł się w publikacjach w PRA, z pewnością będzie cytowany i będzie inspiracją dla doświadczeń.

**Stwierdzam, że rozprawa pani mgr Joanny Pietraszewicz spełnia wymogi stawiane pracom doktorskim z dziedziny fizyki.**

**Wnoszę o dopuszczenie kandydatki do dalszych etapów obrony pracy doktorskiej.**

Marek Trippenbach

