



UNIwersYTET MIKOŁAJA KOPERNIKA
INSTYTUT FIZYKI

ul. Grudziądzka 5/7 87-100 TORUŃ

Tel. (48 56) 611 33 10
Sekretariat: (48 56) 622 63 70

Fax (48 56) 622 53 97
Telex 0552412 umk pl
e-mail: ifiz@phys.uni.torun.pl



Data: 14.03.2015

L. dz.:

dr hab. Roman Ciuryło
Instytut Fizyki
Uniwersytet Mikołaja Kopernika

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr Krystiana Sycza pt. : „Dynamika stanów superpozycji zimnych atomów ^{85}Rb ”.

W rozprawie doktorskiej mgr. Krystiana Sycza przedstawione zostały wyniki prac doświadczalnych nad dynamiką superpozycji stanów zimnych atomów rubidu. Głównym narzędziem wykorzystywanym w tej rozprawie jest skrócenie płaszczyzny polaryzacji światła, którego propagacji towarzyszy obecność pola magnetycznego oraz materii. To skrócenie polaryzacji znane jest pod nazwą rotacji Faradaya. Efekt ten, a szczególnie jego nieliniowa odmiana pozwala na bardzo precyzyjny pomiar bardzo słabych pól magnetycznych. Rotacja Faraday też jest jedną z technik wykorzystywanych w testach modelu standardowego i poszukiwania układów atomowych, w których może być obserwowane niezachowanie parzystości.

Wykorzystanie skrócenia płaszczyzny polaryzacji światła laserowego przechodzącego przez pary ultrazimnych atomów w polu magnetycznym do badania dynamiki superpozycji stanów atomowych stanowi poważne wyzwanie eksperymentalne. Bez wątplenia Uniwersytet Jagielloński jest najlepszym miejscem w Polsce by tego typu prace prowadzić ze względu na ogromne doświadczenie w zakresie magnetometrii jak i zastosowań ultrazimnych atomów. Było to bardzo pomocne w osiągnięciu celów stawianych przed doktorantem.

Przedstawiona do oceny rozprawa składa się z pięciu rozdziałów oraz bibliografii. Zasadniczym celem pracy było opracowanie metodyki badań oraz jej doświadczalną realizacją wykorzystującą rotację Faradaya do analizy własności swobodnej dynamiki superpozycji stanów zeemanowskich ultra zimnych atomów w obecności jedynie pola magnetycznego.

Rozprawę rozpoczyna wstęp, w którym Autor w bardzo przejrzysty sposób wprowadza pojęcia i efekty wykorzystywane w dalszych częściach rozprawy. Począwszy od dydaktycznego omówienia liniowego efektu Faradaya i dwójtomności ośrodka indukowanej polem magnetycznym przechodzi do

zdefiniowania polaryzacji ośrodka indukowanej przez światło. Następnie wskazuje na bardzo interesujący paramagnetyczny efekt Faraday, który występuje gdy dwójtomność próbki jest wytworzona poprzez optyczne pompowanie. Wówczas skręcenie polaryzacji występuje nawet przy braku pola magnetycznego. Istotne znaczenie dla rozprawy mają nieliniowe zjawiska optyczne opisane wraz z nieliniowym efektem Faraday w kolejnych częściach tego rozdziału. Znacznie mniejsza szerokość nieliniowego rezonansu Faradaya związana jest z czasem koherencji stanu podstawowego. Na koniec tego rozdziału autor przechodzi do opisu relaksacji koherencji i polaryzacji atomowych oraz nieliniowego efektu Faradaya w zimnych atomach.

W rozdziale drugim przedstawiony został formalizm służący opisowi teoretycznemu badanych zjawisk. Punktem wyjścia jest równanie Master, które umożliwia opis dynamiki macierzy gęstości. W takim wypadku standardowym podejściem jest stosowanie reprezentacji macierzowej tego równania oraz przybliżenia fali wirującej. Prowadzi to do otrzymania układu sprzężonych liniowych równań różniczkowych pierwszego rzędu o stałych lub zależnych od czasu współczynnikach na elementy macierzy gęstości stanów atomowych reprezentującej populację tych stanów jak i koherencje między nimi. Autor rozprawy wykorzystuje te równania do symulacji numerycznych tworzenia i ewolucji superpozycji stanów odpowiadającym podpoziomom zeemanowskimi. Następnie wykorzystuje je do przewidywania własności nieliniowego efektu Faraday w ultra zimnych atomach rubidu.

Układ doświadczalny został opisany w rozdziale trzecim. Sama część próżniowa tego układu była używana w szeregu wcześniejszych prac. Dlatego Autor znacznie więcej uwagi poświęcił dostosowaniu układu do potrzeb tej pracy. Opisany został dość standardowy system laserowy. Natomiast wiązki laserowe zostały poprowadzone tak by zapewnić jak najlepsze nakładanie wiązek próbkującej i pompującej oraz precyzyjny pomiar skręcenia płaszczyzny polaryzacji światła przez ultra zimne atomy. W doświadczeniach z zimnymi atomami bardzo ważną rolę odgrywa odpowiednia sekwencja czasowa eksperymentu. Pozwala ona na wielokrotne powtarzanie pomiarów dla różnych warunków takich jak odstrojenie i moc wiązek laserowych czy wartość indukcji pola magnetycznego. Dla przedstawionej do oceny pracy jednym z kluczowych elementów była odpowiednia kontrola pola magnetycznego. Ważnym osiągnięciem tej pracy było umieszczenie układu pułapującego ultrazimne atomy w ekranie magnetycznym zapewniającym dwudziestokrotną redukcję wpływu zewnętrznych pól magnetycznych.

Zasadnicze wyniki pracy zostały opisane w rozdziale czwartym. W jedno wiązkowym eksperymencie zademonstrowano liniowy rezonans Faraday o szerokości paru gausów oraz nieliniowy o szerokości około 10 miligausów. Autor przedstawił wyniki zależności kąta skręcenia płaszczyzny polaryzacji światła od jego natężenia oraz od czasu i dla wybranego odstrojenia lasera od rezonansu atomowego. W eksperymencie dwuwiązkowym wiązka próbkująca została odstrojona od rezonansu atomowego by zminimalizować jej wpływ na próbkę atomową. Wykorzystuje się tu dyspersyjną zależność sygnału rotacji Faraday, która niknie znacznie wolniej z odstrojeniem niż absorpcja światła. Natomiast wiązka pompująca została wykorzystana do zwiększenia efektywności tworzenia koherencji między podpoziomami zeemanowskimi ultrazimnych atomów. Interesującym wynikiem była obserwacja preorientacji atomów wypuszczanych z pułapki MOT. Kolejnym rezultatem tej pracy była demonstracja zdolności badanego układu do pomiaru stałych i zmiennych pól magnetycznych.

Główne wysiłki badań zostały skupione na demonstracji swobodnej ewolucji polaryzacji atomowej oraz jej dekoherencji obserwowanej poprzez zmienną w czasie rotację Faradaya. Widać wyraźnie, że

odpowiednie ekranowanie pola magnetycznego pozwoliło na znaczne wydłużenie czasu obserwacji oscylacji polaryzacji atomowej. Autor pokazał, że możliwe są bardzo duże kąty skręcenia płaszczyzny polaryzacji sięgające 23° przy jednocześnie małej gęstości rzędu 10^{11} atom/cm³ par atomowych powodujących to skręcenie. Nasuwa się tu pytanie czy można wykorzystać to w badania łamania parzystości w układach atomowych i co by było do tego potrzebne?

Autor rozprawy pokazał, iż szybkość relaksacji jest parokrotnie większa dla koherencji niż dla polaryzacji atomowych i rośnie liniowo wraz ze wzrostem natężenia wiązki próbkującej. Mało tego relaksacja koherencji była w praktyce zdominowana przez oddziaływanie z wiązką próbkującą. Aby wydłużyć czas obserwacji koherencji doktorant zastosował sprytną technikę stroboskopową. Polegającą na kolejnym przesuwaniu momentu włączania wiązki próbkującej. To podejście pozwoliło wydłużyć czas obserwacji koherencji atomowych w ultra zimnych atomach parokrotnie.

Rozprawę kończy podsumowanie i bibliografia złożona z 87 pozycji.

Przedstawiona do oceny praca jest bardzo dobrze napisana i zredagowana. Tym bardziej pewne niedociągnięcia, których nie mogę pominąć w tej ocenie powodują dysonans. Na rysunkach 30b ze str. 63, 44a ze str. 79, i 64 ze str. 100 współczynniki dopasowanych prostych zostały podane z pominięciem jednostek. Niepewności standardowe niektórych z nich, 44a ze str. 79 i 64 ze str. 100, zostały podane z trzema a nawet czterema cyframi znaczącymi co w takim opracowaniu jest zdecydowanie niestosowne. Na stronach 75 i 79 Autor rozprawy nazywa natężeniem pola wielkość oznaczoną symbolem B, która jest indukcją pola magnetycznego, istotnie różną od natężenia pola magnetyczne zazwyczaj oznaczanego przez H.

Przechodząc do merytorycznej zawartości rozprawy pewien niedosyt budzi lakoniczne wspomnienie pracy [83] oraz innych uprzednich osiągnięć w tej dziedzinie. To utrudnia ocenę na ile przedstawione wyniki są nowatorskie. Warto by było wyraźnie zaznaczyć jakie osiągnięcia tej pracy wyraźnie wykraczają poza to co było już znane. Na rysunku 47 ze str. 82 widać ładną zgodność zmierzonych punktów z dopasowanymi prostymi, lecz niemal wszystkie punkty leżą poniżej prostych. Co jest tego przyczyną? Przyglądając się rysunkowi 53 ze str. 90 trudno oprzeć się wrażeniu czas relaksacji czerwonej krzywej nie jest zasadniczo dłuższy od czasu relaksacji krzywej zaznaczonej na żółto. Natomiast wyraźnie charakter zaniku żółtych oscylacji odbiega od zaniku wykładniczego. Na koniec warto by doktorant wskazał co uważa za główne oryginalne osiągnięcie tej rozprawy godne publikacji w czasopiśmie o zasięgu ogólnościowym.

Mimo pewnych uwag krytycznych należy podkreślić, że rozprawa mgr. Krystiana Sycza jest bardzo dobrze napisana a doświadczenie nowatorskie i wymagające. Tematyka jest bardzo świeża i budząca duże zainteresowanie. Biorąc to pod uwagę stawiam wniosek o dopuszczenie Doktoranta do publicznej obrony jego rozprawy.

