

Ocena rozprawy doktorskiej mgr. Marcina Płodzienia
pt. *Efekty nieporządku w zimnych gazach atomowych*

Zimne gazy atomowe, w związku z gwałtownym rozwojem metod doświadczalnych obserwowanym w ostatnich latach, stały się wdzięcznym obiektem badań dotyczących różnych aspektów kwantowych układów złożonych. Jedną z przyczyn intensywności tych badań jest możliwość przebadania związanych ze swoistymi cechami tychże gazów zjawisk znanych z innych obszarów - fizyki materii skondensowanej, czy optyki a nawet teorii oddziaływań fundamentalnych. Z jednej strony fizyka zimnych gazów korzysta z metod analizy wypracowanych w tych obszarach, z drugiej pozwala na sprawdzanie ogólnych teorii w obszarach i konfiguracjach dla nich niedostępnych. Wybranych zagadnieniom teoretycznym związanym z występowaniem przypadkowości i nieliniowości w układach zimnych atomów poświęcona jest rozprawa doktorska mgr. Marcina Płodzienia.

Na rozprawę składa się pięć oryginalnych publikacji współautorstwa mgr. Płodzienia. Cztery z nich ukazały się w *Physical Review A* w latach 2011-2013, a jedna w *New Journal of Physics* w roku 2013. Są to, jak powszechnie wiadomo, czasopisma o bardzo wysokim prestiżu. Zgodnie z załączonymi oświadczeniami współautorów rola pana mgr. Płodzienia w ich powstaniu była decydująca lub, co najmniej, niezwykle istotna. Główna część rozprawy, tzn. kolekcja wyżej wymienionych prac, jest poprzedzona sześćdziesięciostronicowym omówieniem otrzymanych w pracach wyników zawierającym również krótkie wprowadzenie do lokalizacji Andersona i potencjałów przypadkowych (siłą rzeczy występujące jedynie w skróconych formach w poszczególnych publikacjach), zwięzłe podsumowanie, oraz dwa dodatki poświęcone problemom numerycznym: procedurze generowania odpowiedniego potencjału przypadkowego oraz obliczaniu długości lokalizacji w przypadku jedno- i dwuwymiarowym. W tej części rozprawy autor zamieścił również obszerną bibliografię przedmiotu, uzupełniającą i ujednolicejącą bibliografię z poszczególnych publikacji świadczącą, podobnie jak całe omówienie wszystkich publikacji, o swobodnym poruszaniu się doktoranta w obszarze jakiego dotyczy rozprawa.

Poszczególne prace składające się na rozprawę dotyczą:

1. Koncepcji lasera atomowego analogicznego od optycznego lasera przypadkowego (praca nr 1. spośród zaprezentowanych w rozprawie). Oryginalną ideą leżącą u podstaw takiego lasera jest to, że dla wzmocnienia światła nie jest niezbędna wnęka rezonansowa - wzmocnienie następuje w wyniku intensywnego rozpraszania w nieuporządkowanym ośrodku - mechanizm wykorzystuje efekt lokalizacji w ośrodku przypadkowym. Pan mgr. Płodzień pokazuje, że analogiczne zjawisko może zaistnieć w laserze atomowym realizowanym poprzez wypuszczanie atomów z pułapki, w której wytworzony został kondensat Bosego-Einsteina. Pomysł polega na tym, aby po wyłączeniu pułapki włączyć

przypadkowy potencjał otrzymany poprzez rozproszenie fali elektromagnetycznej (światła laserowego) na porowatej powierzchni. W pracy przeanalizowano model jedno- i dwuwymiarowy. Ciekawym wynikiem teoretycznym jest pokazanie, że dla pewnych zakresów pędów długość lokalizacji Andersona staje się na tyle duża (jednak, oczywiście, w jednym wymiarze nie nieskończona), że atomy mogą opuszczać obszar nieporządku.

2. Lokalizacji Andersona w układach bozonowych, a konkretnie solitonów w kondensacie Bosego-Einsteina, na skutek występowania potencjału przypadkowego. Możliwość wzbudzenia solitonów w kondensacie wynika z nieliniowości problemu, a konkretnie własności równania Grossa-Pitajewskiego. W pracach 2.-4. wchodzących w skład rozprawy badano skutki umieszczania kondensatu w dodatkowym słabym potencjale przypadkowym. Potencjał taki, podobnie jak poprzednio, może być zrealizowany poprzez oświetlenie rozproszoną na falą elektromagnetyczną. W opublikowanej w 2009 pracy Sacha, Müller, Delande i Zakrzewski wykazali, że stany własne hamiltonianu opisującego w takiej sytuacji dynamikę środka masy solitonu są andersonowsko zlokalizowane w wypadku tzw. jasnych solitonów. Wynik ten otrzymuje się poprzez skonstruowanie takiego efektywnego hamiltonianu. Poprawność tej procedury została potwierdzona w pracy nr 4. przedstawiającej wyniki symulacji numerycznej układu N bozonów z przyciągającymi oddziaływaniami w jednym wymiarze w zewnętrznym potencjale przypadkowym, dobitnie wskazujące na występowanie lokalizacji Andersona. W pracy nr 3. pokazano, że zjawisko to zachodzi także dla tzw. solitonów ciemnych, tzn. w wypadku gdy chmura kondensatu oddziałuje na pojedynczy atom odpychająco (długość rozpraszania jest dodatnia). Najbardziej wartościowym wynikiem jest tu pokazanie, że obserwacja lokalizacji Andersona jest w tym wypadku możliwa w doświadczeniu. Jest to rezultat niebanalny gdyż, w przeciwieństwie do solitonów jasnych będących stanami podstawowymi, ciemne solitony są kolektywnym wzbudzeniem całego układu. Siłą rzeczy ich czas życia są skończone - autorzy obliczyli, że są one porównywalne z czasem życia kondensatu. Problem ten był już zasygnalizowany w przytoczonej powyżej pracy Sachy i innych i właśnie w pracy nr 3 doczekał się wyczerpującej analizy.

Praca 2. poświęcona jest wpływowi oddziaływań między cząstkami na lokalizację Andersona. Tu znowu kondensat Bosego-Einsteina oferuje znacznie większe możliwości przebadania takiego wpływu, niż ma to miejsce w fizyce materii skondensowanej, a to poprzez lepszą kontrolę oddziaływania - na przykład można zmieniać jego charakter z przyciągającego na odpychające. Obiektem zainteresowania jest tu para oddziałujących ze sobą jasnych solitonów w kondensacie. W obecności słabego potencjału przypadkowego oba są andersonowsko zlokalizowane we wspomnianym powyżej sensie. Autorzy wykazali, że w ogólności, oddziaływanie między solitonami niszczy lokalizację. W analizowanej sytuacji oddziaływanie zależy nie tylko od odległości między solitonami, ale też od dodatkowego parametru - różnicy faz rozwiązań solitonowych. Autorzy pokazują, że samą delokalizację można wykryć za pomocą rachunku zaburzeń, natomiast subtelniejsze efekty związane z fazą, takie jak zależność od tego, czy oddziaływanie jest początkowo odpychające, czy też przyciągające co, jak się okazuje, ma wpływ na delokalizację, zostały odkryte za pomocą metod numerycznych. Otrzymane wyniki są

bardzo interesujące z punktu widzenia badań nad lokalizacją w ośrodkach przypadkowych z powodu, o którym już wspominałem, tzn. nietypowego, a zarazem nieźle kontrolowalnego charakteru oddziaływania, zależnego zarówno od odległości, jak i dodatkowego parametru - fazy, co zapewne trudniej sobie wyobrazić, a na pewno zrealizować, w innych sytuacjach fizycznych. Wydaje się, że dostępne techniki eksperymentalne są wystarczające dla przeprowadzenia odpowiednich doświadczeń (jednak piszący te słowa ma zbyt małą wiedzę w obszarze doświadczalnym, aby to autorytatywnie stwierdzać).

3. Efektów interferencyjnych w spinorowym kondensacie Bosego-Einsteina w niejednorodnym polu magnetycznym. Ostatnia publikacja składająca się na rozprawę (praca nr 5.) opisuje wyniki eksperymentu, na potrzeby którego pan mgr Płodzień wykonała analizę teoretyczną i numeryczną. Sam problem teoretyczny leży nieco poza głównym obszarem pozostałych pracy, gdzie podstawową rolę grały pola przypadkowe, ale także dotyczy bezpośrednio efektów występujących w zimnych gazach atomowych.

Wszystkie prace wchodzące w skład rozprawy prezentują bardzo wysoki poziom merytoryczny, czego pośrednim dowodem są miejsca ich publikacji, o czy już wspominałem. Tego typu prace, podlegające bardzo wnikliwemu procesowi recenzyjnemu, zazwyczaj nie zawierają widocznych mankamentów, nie jest więc dziwne, że i ja takich nie dostrzegłem. Skoncentruje się więc na walorach rozprawy jako całości. Nie ulega wątpliwości, że same publikacje zawierają szereg istotnych i ciekawych wyników, o których wspominałem powyżej. Chciałem szczególnie podkreślić dwa dodatkowe aspekty. Po pierwsze wszystkie prace mają bezpośrednie odniesienie do możliwych do przeprowadzenia lub już przeprowadzonych doświadczeń. Widać szczególną dbałość, aby wszystkie wyniki poszukiwane wyniki teoretyczne były związane z wyzwaniem i możliwościami eksperymentalnymi. Tak właśnie wyobrażam sobie jedno z głównych zadań i wyzwań fizyki teoretycznej, szczególnie z mojej perspektywy badacza uprawiającego fizykę matematyczną, gdzie o taką łączność z doświadczeniem jest często trudno. Aby uwypuklić drugi istotny walor pracy muszę, paradoksalnie, wspomnieć o jej pewnym mankamencie, zaznaczając z góry, że nie jest on specyficzny dla tej akurat rozprawy, ale wynika z jej, dopuszczalnej ustawowo formy jako zbioru publikacji. Taka forma w małym stopniu pozwala doktorantowi na uwagi syntetyzujące całą rozprawę oraz wskazanie jakie jest znaczenie wyników i perspektywy, które otwierają. Być może można było w wykorzystać tu zamieszczone w rozprawie "Podsumowanie", ale nie jestem pewien, czy byłoby to zgodne z intencjami ustawodawcy, który w stosownym paragrafie wymaga wyłącznie "streszczenia". Walorem recenzowanej rozprawy, niwelującym w zasadzie wspomniany mankament rozpraw składanych z kilku prac jest to, że włączone do niej publikacje stanowią istotnie bardzo spójny cykl skoncentrowany wokół dobrze zdefiniowanej tematyki (w tym wypadku lokalizacji Andersona w kondensatach Bosego-Einsteina). Poszczególne prace uzupełniają się i pozwalają na spojrzenie na lokalizację z różnych perspektyw.

Podsumowując stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr. Marcina Płodzienia pt. *Efekty nieporządku w zimnych gazach atomowych* spełnia wszystkie ustawowe i zwyczajowe wymagania stawiane tego typu pracom i wnioskuję o dopuszczenie jej autora do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Warszawa, 7.07.2014



prof. dr hab. Marek Kuś