

Warszawa, 24.05.2017 r.

Prof. Mariusz Gajda

Instytut Fizyki PAN

Al. Lotników 32/46

02-668 Warszawa

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr. Jana Majora

zatytułowanej

“Anderson localization in low dimensional optical lattices”

Rozprawa doktorska mgr. Jana Majora poświęcona jest badaniu lokalizacji Andersona w układach, w których istnieją pewne korelacje nieporządku. Tematyka podjęta przez autora jest bardzo atrakcyjna i aktualna. Lokalizacja Andersona, zjawisko polegające na przestrzennej lokalizacji funkcji falowej cząstki poruszającej się w przypadkowym potencjale, przeżywa obecnie renesans zainteresowania w związku z nowymi możliwościami doświadczalnymi. Ultra zimne układy atomowe umieszczone w periodycznym potencjale sieci optycznej stanowią wyśmienity poligon doświadczalny do badania wielu zjawisk fizyki ciała stałego. Sieci optyczne są doskonałymi symulatorami kwantowymi pozwalającymi na nowe spojrzenie na problemy fizyki wielu ciał. Dzieje się tak z powodu istnienia wielu różnorodnych metody kontroli parametrów układu oraz ze względu na możliwość bezpośredniej obserwacji atomów. Lokalizacja Andersona jest właśnie jednym z takich klasycznych zagadnień fizyki wielu ciał, które są idealne do symulacji przy pomocy atomów w sieciach optycznych. Mgr Jan Major podjął się teoretycznego badania tego problemu.

Praca składa się z obszernego wstępu oraz dwóch rozdziałów, w których przedstawiono główne rezultaty. Na końcu, w dwóch uzupełnieniach, autor przestawił opis metod teoretycznych wykorzystywanych w rozprawie, w szczególności podstawy metody Floquet’a, rozwinięcie Magnusa, równania rekurencyjne pozwalające na wyznaczenie funkcji Greena, metodę wyznaczenia długości lokalizacji, metody MacKinnon’a oraz ścisłej diagonalizacji. Taki podział rozprawy zwiększa jej przejrzystość i pozwala śledzić główny wątek rozprawy bez konieczności zgłębiania technicznych detali.

W obszernym wstępie autor przedstawia na początku krótki przegląd własności układu ultra zimnych atomów w sieci optycznej, ze szczególnym uwzględnieniem opisu układu w przypadku periodycznie modulowanych parametrów, w ramach teorii Floquet. Następnie mgr Jan Major szeroko omawia podstawy teorii opisu lokalizacji Andersona, a na koniec przedstawia scenariusze doświadczalne generowania układów opisanych Hamiltonianami, których diagonalne lub pozadiagonalne elementy macierzowe są przypadkowe. Wstęp pokazuje erudycję autora oraz szeroką znajomość badanej tematyki. Mgr Jan major potrafi umieścić ją w szerszym kontekście, zna i rozumie podstawowe wyzwania.

Główne wyniki pracy przedstawione są w dwóch kolejnych rozdziałach. Szczególnie ciekawe rezultaty dotyczą badania zbioru rozciągniętych stanów w przypadku jednowymiarowych układów z pozadiagonalnym nieporządkiem. W jednym wymiarze, każdy nieporządek prowadzi do lokalizacji Andersona. W przypadku, kiedy nieporządek jest w jakiś sposób skorelowany, pojawiają się stany rozciągnięte, co przejawia się oknami przewodnictwa w układach skończonych. Takie okna

przewodnictwa mogą służyć jako filtry energii atomów. Mgr Jan Major przedstawił szereg rezultatów dotyczących lokalizacji Andersona w przypadku korelacji mających charakter tzw. uogólnionych N-merów. W celu znalezienia energii, dla których występują stany rozciągłe, mgr Jan Major zastosował metodę macierzy przejścia. Metodę tę zilustrował na „klasycznych” przykładach dimerów i regularnych N-merów, czyli układów, w których energie w oczkach sieci występują w łańcuchach o ustalonej długości. Oryginalnym wynikiem rozprawy jest uogólnienie metody na przypadek niejednorodnych N-merów.

Dużą wartością pracy jest to, że autor zaproponował metodę wytworzenia układu spełniającego warunki opisywanego modelu. Metoda polega na wykorzystaniu dwóch rodzajów atomów, jedno unieruchomione w przypadkowych węzłach jednej sieci optycznej, a drugie poruszające się w drugiej sieci optycznej o prostopadłej polaryzacji i mniejszym okresie przestrzennym. Modulując periodycznie oddziaływanie między oboma rodzajami atomów można wytworzyć układ z korelacjami typu N-mer.

Mgr Jan Major był w stanie opisać układy o nieporządku scharakteryzowanym przez skończoną liczbę bloków o ustalonej długości, w których energie w oczkach oraz tunelowania są niejednorodne. Mgr Jan Major znalazł okna przewodnictwa dla różnych ciekawych przypadków, uwzględniając tunelowanie do drugich sąsiadów bądź też efekt oddziaływań o dużym zasięgu. Pokazał jak długość lokalizacji zależy od tych fizycznych parametrów układu. Przykładowo pokazał, że rezonanse maleją w przypadku uwzględnienia tunelowania do dalszych sąsiadów, a także wykazał, że dla uogólnionych N-merów rezonanse są bardzo wąskie i asymetryczne, a większość leży na krawędzi przerwy w widmie. Uogólnionymi N-merami były losowo rozłożone struktury: pusty łańcuch o długości $l=7$ oraz takiej samej długości łańcuch oczek o niejednorodnych energiach bądź tunelowaniach.

W kolejnym rozdziale (Rozdział 3) mgr Jan Major rozważał przypadek lokalizacji w dwuwymiarowej sieci optycznej. W takiej sytuacji możliwe jest wytworzenie w układzie sztucznego, przypadkowego pola magnetycznego. Pole magnetyczne łamie symetrię odwrócenia w czasie. Z tego powodu nie powinno być czynnikiem sprzyjającym lokalizacji, z drugiej strony wprowadza pewien losowy element. Postawiony problem wydaje się być ciekawy. Mgr Jan Major swoje wyniki dotyczące lokalizacji w przypadkowym polu magnetycznym poprzedził bardzo długim wstępem, który stanowi bardzo dobre podsumowanie zarówno dotychczasowej wiedzy o lokalizacji w polu losowym magnetycznym, jak i również zagadnień związanych z wytworzeniem sztucznego pola magnetycznego dla neutralnych atomów w sieci optycznej. Wytworzenie warunków, w których neutralne atomy będą zachowywać się tak jak naładowane cząstki w polu magnetycznym nie jest trywialnym zadaniem. Opracowano kilka metod które w przypadku atomów w sieci optycznej prowadzą do zespolonych wartości tunelowania. Jest to potrząsanie siecią bądź też tunelowanie w obecności światła laserowego.

Autor proponuje aby przypadkowe pole magnetyczne wytworzyć przy wykorzystaniu dwóch rodzajów atomów w sieci optycznej oraz szybkich modulacji jej parametrów: energii w oczkach oraz tunelowania. Mgr Jan Major rozważa dwa scenariusze modulacji amplitud tunelowania: harmonicznej modulacji wysokości sieci w czasie oraz periodycznie powtarzanych impulsów typu „delta”. Autor rozważa zarówno skorelowany jak i nieskorelowany nieporządek. W przypadku skorelowanego nieporządku długość lokalizacji jest niezwykle mała. Z kolei w przypadku nieskorelowanego nieporządku długości lokalizacji rośnie. Na koniec mgr Jan Major porównuje wyrażenie łączące długość lokalizacji ze średnią drogą swobodną rozwiązując równanie Schroedingera uzyskując całkiem dobrą zgodność.

Wysoko oceniam wyniki rozprawy. Mgr Jan Major przedstawił kompleksowe rozwiązanie problemu. Szeroka dyskusja, mnogość rozważanych przypadków, szeroki wachlarz metod użytych do

rozwiązania problemu oraz bezpośrednie odniesienie do możliwych eksperymentalnych realizacji eksperymentalnych stanowią o wartości rozprawy.

Nie mam poważnych uwag krytycznych, choć pewnych drobnych usterek bądź niejasności nie dało się autorowi uniknąć. Przykładowo nie w pełni zrozumiałem skąd autor wywiódł stwierdzenia dotyczące własności macierzy przejścia, kluczowego obiektu służącego do wyznaczenie stanów rozciągłych. Otóż na stronie 36 mgr Jan Major pisze: "Transfer matrix always has a determinant equal 1 ...". Z kolei wyznacznik jawnie wypisanej macierzy przejścia przez węzeł "i" wynosi t_{i-1}/t_i (60). Podobnie, nie jest dla mnie oczywiste, że pozadiagonalne elementy macierzy przejścia $T_A(E)$ i $T_B(E)$ spełniają warunek $[T]_{12} = -[T]_{21}$, jak pisze autor na stronie 37. Przeglądając się wzorowi (62) wydaje mi się, że wymaga to pewnych dodatkowych założeń. Wspomniane powyżej własności macierzy przejścia są bardzo istotne, i w moim odczuciu czytelnik może się czuć nieco zagubiony w tym miejscu.

Pisząc o uogólnionych N-merach mgr Jan Major zakłada, pewną postać amplitud tunelowania między węzłami łańcucha oraz do sąsiedniego łańcucha nakładając na te amplitudy więzy, że krańcowe wartości tunelowania są ustalone i równe 1, czyli równe wartości nie zmienionego tunelowania. Mgr Jan Major twierdzi, że wymagania te są związane z konsystencją modelu, i że warunek ten jest realistyczny. Brakuje mi szerszej dyskusji jak ważne jest to założenie, wydaje mi się, że jest ono dość istotne. Mgr Jan Major pisze o tym warunku w dalszej części rozprawy, ale nie udało mi się znaleźć przekonującego uzasadnienia tego założenia – wynika to chyba z niezbyt klarownego opisu. Chciałbym też być przekonany przez autora, że w proponowanych przez niego scenariuszach eksperymentalnej realizacji układu, kreowane są właśnie takie N-mery.

Jak wspomniałem, moje zarzuty odnoszą się do niezbyt jasnego, w moim odczuciu, uzasadnienia pewnych założeń wynikających zapewne z fizycznych własności badanych układów. Praca napisana jest w języku angielskim, ze sporą swobodą. Mimo to znalazłem pewną liczbę drobnych nieścisłości lub błędów językowych (np. „the system have” na str. 46). Jednak nie czuję się wystarczająco kompetentny by komentować te, moim zdaniem, drobne potknięcia.

Mimo bardzo starannej edycji rozprawy, natknąłem się również na parę błędów. Przykładowo nie znalazłem w tekście odnośnika do Rys. 6 lub definicji wielkości T_1 i T_2 we wzorze (25). Moim zdaniem nie ma sensu porównanie wielkości mianowanych odpowiadających różnym fizycznym wielkościom, takim jak czas i częstotliwość: $T \ll \omega$, pod wzorem (39).

Wyniki zostały opublikowane w trzech pracach naukowych, dwie z nich w Physcal Review A, a jedna w Acta Pysica Polonica A. Najciekawsze wyniki dotyczące okien przewodnictwa w jednowymiarowych układach z nieporządkiem w obecności korelacji typu N-merów są przedstawione w jednoautorskiej pracy co w obecnych czasach jest niezwykle rzadkie i zasługuje na szczególne wyróżnienie.

Podsumowując bardzo wysoko oceniam rozprawę doktorską mgr. Jana Majora i przedstawione w niej wyniki. Z pełnym przekonaniem stwierdzam, że przedstawiona rozprawa z nadwyżką spełnia wszelkie ustawowe i zwyczajowe wymagania stawiane przed rozprawą doktorską i wnoszę o dopuszczenie mgr. Jana Majora do dalszych etapów przewodu doktorskiego. Wnoszę również o wyróżnienie rozprawy.


Mariusz Gajda