

Kraków, 27.01.2021



UNIWERSYTET
JAGIELLOŃSKI
W KRAKOWIE

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr. Macieja Kozarzewskiego

Pan Maciej Kozarzewski przygotował rozprawę doktorską pod kierunkiem prof. dr hab. Marcina Mierzejewskiego. Tytuł pracy brzmi „Transport Properties of Disordered Quantum Chains with Many-Body Interactions”, a sama rozprawa poświęcona jest analizie wielociałowej lokalizacji w układach oddziałujących fermionów, które w obecności nieporządku nie wykazują własności ergodycznych. Praca doktorska bazuje na 4 artykułach opublikowanych w Physical Review Letters i Physical Review B. Zagadnienia, którymi zajmuje się Pan Maciej Kozarzewski należą do jednego z najciekawszych i najbardziej intensywnie badanych nowych kierunków fizyki układów wielu ciał. Wielociałowa lokalizacja to nie tylko problem teoretyczny – w laboratoriach ultrazimnych gazów atomowych prowadzone są eksperymenty demonstrujące wielociałową lokalizację oraz jej własności. Rozprawa Pana Macieja Kozarzewskiego bada zagadnienia interesujące z teoretycznego punktu widzenia, ale również odpowiada na potrzeby eksperymentatorów analizując sygnatury braku ergodyczności wielkości mierzalnych w laboratoriach. W recenzji będę starał się unikać szczegółowego opisu zawartości pracy, ponieważ i tak zostanie ona przedstawiona przez doktoranta w trakcie obrony.

Po przeczytaniu pierwszego rozdziału stanowiącego wstęp do doktoratu, stało się dla mnie jasne, że będę miał okazję zapoznać się z bardzo dobrze napisaną rozprawę doktorską. Dawno nie miałem do czynienia z tak zwięźle i klarownie przedstawionymi problemami, które stanowią punkt wyjścia pracy doktorskiej. W drugim rozdziale opisane są szczegóły techniczne symulacji numerycznych. Na pewno przydadzą się studentom i doktorantom zamierzających prowadzić podobne badania numeryczne. Główna część pracy składa się z trzech rozdziałów oraz dodatku, gdzie badane są własności transportu w oddziałujących układach fermionowych z nieporządkiem.

Jeżeli nieporządek jest słaby, obecność zewnętrznego pola elektrycznego powoduje powstanie oscylacji Blocha w układzie bezspinowych fermionów analizowanym w rozdziale trzecim, które zanikają w wyniku termalizacji. Sytuacja zmienia się, jeśli mamy do czynienia z silnym nieporządkiem. Układ nie zapomina o stanie początkowym, a oscylacje prądu cząstek mają podobną częstotliwość, niezależnie od natężenia pola elektrycznego i amplitudę proporcjonalną do natężenia. Zanik oscylacji związany jest w tym przypadku z destruktywną interferencją prądów pomiędzy sąsiednimi oczkami jednowymiarowego łańcucha, w którym znajdują się fermiony. Hipoteza ta poparta jest wynikami symulacji numerycznych oraz analizą uproszczonego modelu dwuoczkowego. Model dwuoczkowy jest prosty, ale znakomicie wyjaśnia mechanizm odpowiedzialny za obserwowane zachowanie prądu cząstek. Pomysł użycia modelu ilustruję intuicję doktoranta i zrozumienie fizycznych mechanizmów zachodzących w badanym układzie. Należy podkreślić, że analizowany jest układ izolowany, a termalizację rozumiemy w języku tzw. hipotezy termalizacji stanów własnych. Ponieważ efekty

Instytut

Fizyki Teoretycznej

Zakład Optyki Atomowej

ul. prof. Stanisława

Łojasiewicza 11

PL 30-348 Kraków

tel. +48(12) 664-47-79

e-mail:

krzysztof.sacha@uj.edu.pl

obserwowane przez Pana Macieja Kozarzewskiego tłumaczone są zjawiskiem destruktywnej interferencji wydaje mi się, że nie przetrwają, gdy badany układ przestanie być izolowany i będzie miał styczność z rzeczywistym termicznym rezerwuarem. Ciekawy jestem, czy doktorant rozważał badania w tym kierunku?

Bardzo ważne wyniki dotyczące wielociałowej lokalizacji zostały przedstawione przez Pana Macieja Kozarzewskiego w rozdziale czwartym, gdzie analizuje subdyfuzję w spinowych stopniach swobody w modelu Hubbarda z nieporządkiem sprzężonym jedynie z ładunkowymi stopniami swobody. W literaturze znane były wyniki symulacji numerycznych pokazujących, że mimo iż ładunki wydają się zlokalizowane w obecności silnego nieporządku, w spinowych stopniach swobody lokalizacji nie widać. Doktorant buduje uproszczony model, gdzie założenie andersonowsko zlokalizowanych ładunków pozwala wyprowadzić efektywny hamiltonian dla spinowych stopni swobody. Elementy modelu są testowane numerycznie, a na samym końcu wyniki dla spinowej funkcji korelacji porównane z dokładnymi symulacjami numerycznymi pełnego modelu Hubbarda dając dobrą zgodność. Wykładnik zaniku spinowej funkcji korelacji okazuje się być zdeterminowany przez stosunek andersonowskiej długości lokalizacji ładunków i średniej odległości między nimi. Przedstawione numeryczne rachunki pełnego modelu dotyczą niedużych układów, ale w pracy innych autorów, opublikowanej po pojawieniu się artykułu doktoranta, przewidywania subdyfuzyjnego zachowania spinów potwierdzone zostały w numerycznych symulacjach większych układów. Analizując wyprowadzenie modelu efektywnego nasuwa mi się pytanie dotyczące wartości andersonowskiej długości lokalizacji. Nawet dla ustalonego nieporządku, długość lokalizacji zależy od energii cząstki i w modelach Andersona może być znacznie większa niż długość korelacji nieporządku. Doktorant wyznacza pojedynczą wartość długości lokalizacji, stąd pytanie czy dla dowolnych energii układu można stosować ten sam efektywny model?

Model efektywny redukuje opis układu do opisu spinowych stopni swobody andersonowsko zlokalizowanych fermionów w jednowymiarowej przestrzeni. Podobny uproszczony układ można rozważyć w dwu- i trójwymiarowej przestrzeni. Nie wiem czy Pan Maciej Kozarzewski zastanawiał się jak spinowa funkcja korelacji może zachowywać się w tych przypadkach?

W ostatnim rozdziale analizowany jest transport energii w modelu Hubbarda z nieporządkiem przy pomocy efektywnego opisu wprowadzonego w poprzedniej części rozprawy oraz przy pomocy dokładnych symulacji numerycznych małych układów. W odróżnieniu od spinowych stopni swobody, obserwowane jest wstrzymanie transportu energii i podobne zachowanie przewodności dla małych częstości jak w przypadku transportu ładunku. Na pytanie co dzieje się w modelu Hubbarda, gdy przejdziemy do granicy termodynamicznej, autor nie jest w stanie podać definitywnej odpowiedzi. Zresztą nikt na świecie odpowiedzi nie zna. Opis transportu energii zamyka analizę własności wielociałowej lokalizacji przeprowadzoną w głównej części rozprawy doktorskiej. W uzupełnieniu autor prezentuje wyniki dotyczące tzw. lokalnych całek ruchu w modelu bezspinowych fermionów oraz w modelu Hubbarda z nieporządkiem. Metoda wyznaczania

lokalnych całek ruchu pochodzi z wcześniejszych prac promotora. Doktorant ilustruje użycie metody dla niedużych układów i pokazuje, że w przypadku modelu Hubbarda bez nieporządku w spinowych stopniach swobody liczba lokalnych całek ruchu jest za mała, aby mówić o pełnej wielociałowej lokalizacji.

Podsumowując, Pan Maciej Kozarzewski analizował w swojej pracy doktorskiej bardzo aktualny i intrygujący problem wielociałowej lokalizacji. Brak ergodycznego zachowania oddziałujących cząstek w obecności silnego nieporządku jest zjawiskiem zaskakującym, a zrozumienie mechanizmów odpowiedzialnych za jego pojawienie się stanowi wyzwanie dla teoretyków. Praca Pana Macieja Kozarzewskiego identyfikuje sygnatury świadczące o braku ergodyczności w zachowaniu wielkości, które można zmierzyć w eksperymentach. Uważam, że ważnym wynikiem doktoranta jest opis i wyjaśnienie zaniku oscylacji prądu cząstek w oparciu o destruktywną interferencję w reżimie wielociałowej lokalizacji. Najciekawszą częścią pracy, w mojej opinii, jest rozdział czwarty poświęcony subdyfuzji spinowych stopni swobody w modelu Hubbarda. Efektywny model, który wyznacza Pan Maciej Kozarzewski przyczynia się do istotnego zrozumienia sygnatur wielociałowej lokalizacji. Uważam, że jest to osiągnięcie, które zasługuje na wyróżnienie i jeśli obrona pracy doktorskiej przebiegnie pomyślnie, będę o takie wyróżnienie wnioskował. Nie mam wątpliwości, że rozprawa doktorska spełnia wymogi stawiane pracom doktorskim i wnoszę o dopuszczenie Pana Macieja Kozarzewskiego do dalszych etapów przewodu doktorskiego.



Prof. Krzysztof Sacha