

dr hab. Marek Rams
Uniwersytet Jagielloński
Wydział Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej
ul. prof. Stanisława Łojasiewicza 11
30-348 Kraków
marek.rams@uj.edu.pl

Kraków, 11 maja 2026



UNIWERSYTET
JAGIELLOŃSKI
W KRAKOWIE

Recenzja pracy doktorskiej pana mgr. Bartosza Krajewskiego pt.
“Dynamika i lokalizacja w łańcuchach kwantowych z
oddziaływaniami wielociałowymi”

Instytut Fizyki
Teoretycznej
Zakład Kwantowej
Teorii Wielu Ciał
ul. St. Łojasiewicza 11
PL 30-348 Kraków

Przedłożona rozprawa doktorska pana Bartosza Krajewskiego ma charakter teoretyczny i stanowi istotny wkład w zrozumienie zjawiska lokalizacji wielociałowej. Sytuuje to pracę w niezwykle popularnym i obecnie bardzo aktywnym obszarze badań. Autor demonstruje głębokie zrozumienie teoretycznych aspektów rozważanej problematyki, proponując oryginalny punkt widzenia, który pozwala ilościowo ukazać bliski związek lokalizacji wielociałowej w najczęściej analizowanych modelach teoretycznych z lokalizacją Andersona w układach nieoddziałujących.

Rozprawa została przygotowana pod opieką promotora, prof. Marcina Mierzejewskiego, i opiera się na cyklu czterech artykułów naukowych. Dwa z nich zostały opublikowane w niezwykle prestiżowym czasopiśmie *Physical Review Letters*, a pozostałe dwa w *Physical Review B*. W trzech pracach pan Bartosz Krajewski występuje jako pierwszy autor, natomiast w chronologicznie pierwszej publikacji jako drugi autor. Wyraźnie widać, że wcześniejsze prace stanowią punkt wyjścia i motywację do kolejnych, w naturalny sposób składając się na tematycznie spójny i koherentny cykl. Oświadczenie autora dotyczące jego indywidualnego wkładu w poszczególne artykuły jednoznacznie potwierdza jego istotną rolę w ich powstaniu. Ponadto doktorant jest współautorem dwóch innych publikacji naukowych, w tym jednej tematycznie bliskiej problematyce doktoratu, co łącznie składa się na bardzo dobry dorobek na tym etapie kariery naukowej.

Rozprawa przyjmuje standardową formę pracy opartej na cyklu publikacji, w której wymienione powyżej artykuły, poprzedzone krótkimi podsumowaniami, stanowią treść rozdziałów czwartego do siódmego. Pierwsze trzy rozdziały pełnią funkcję wprowadzającą: podsumowują strukturę rozprawy, wprowadzają problem badania ergodyczności oraz jej łamania w układach fizycznych, a także zawierają zestawienie podstawowych klas problemów, w których takie łamanie występuje w kwantowych układach wielu ciał. Następnie autor przedstawia kluczowe wyniki dotyczące lokalizacji Andersona oraz przegląd najważniejszych rezultatów rozszerzających tę koncepcję na układy oddziałujące, w ramach tzw. lokalizacji wielociałowej. Warto w tym miejscu podkreślić, że znaczna część wyników w tej dziedzinie opiera się na symulacjach numerycznych przeprowadzonych dla układów liczących co najwyżej kilkanaście spinów lub elektronów. Uzyskanie głębszego zrozumienia teoretycznego oraz przeniesienie obserwacji numerycznych z małych układów do granicy termodynamicznej – podobnie jak ustalenie losów lokalizacji wielociałowej w tej granicy – pozostają fundamentalnymi, otwartymi problemami badawczymi.

Artykuł stanowiący treść rozdziału czwartego jest krokiem w kierunku budowy fenomenologicznego modelu lokalizacji wielociałowej w standardowo rozważanym kwantowym łańcuchu spinów Heisenberga z nieporządkiem. Autor pokazuje w nim, że anomalne zachowanie funkcji spektralnych można wyjaśnić bliskością do nieoddziałującego modelu Andersona, poprzez nadanie niektórym całkom ruchu w tym modelu skończonego czasu relaksacji. Wynik ten w krótkim czasie uzyskał już blisko 50 cytowań co pokazuje jego znaczenie dla rozwoju dziedziny.

Obserwacja ta w naturalny sposób prowadzi też do drugiej pracy, w której wykazano, że dominująca część oddziaływania typu gęstość–gęstość, stanowiącego różnicę pomiędzy powszechnie badanym modelem elektronowym w kontekście lokalizacji wielociałowej a nieoddziałującym modelem Andersona, może zostać złożona z całek ruchu modelu Andersona. Jedynie niewielka część oddziaływania stanowi rzeczywiste zaburzenie tego modelu, co zapewnia teoretyczne podstawy do zrozumienia zachowania układu z oddziaływaniem gęstość–gęstość. Zgadzam się z autorem, że jest to najistotniejszy wynik uzyskany w ramach jego doktoratu. W podsumowaniu autor wysuwa interpretację, zgodnie z którą, w obecności silnego nieporządku, wyniki numeryczne należy uznać za



UNIwersytet
JAGIELLOŃSKI
W KRAKOWIE

Instytut Fizyki

Teoretycznej

Zakład Kwantowej

Teorii Wiele Ciał

ul. St. Łojasiewicza 11

PL 30-348 Kraków

niewiarygodne, gdyż są one nieczułe na słabe zaburzenia. W trakcie obrony chciałbym poprosić doktoranta o rozwinięcie tej myśli: za niewiarygodność metody numerycznej uznałbym bowiem sytuację, w której procedura numeryczna z pewnych powodów generuje nieprawdziwe wyniki, na przykład nie pozwala na uzyskanie zbieżnych wartości własnych przy diagonalizacji źle uwarunkowanej macierzy. Odmiernym zagadnieniem pozostaje natomiast interpretacja poprawnie uzyskanych wyników numerycznych oraz zasadność rozważania konkretnych modeli teoretycznych.

Praca składająca się na rozdział szósty rozwija wcześniejsze badania poprzez rozważenie innych form oddziaływania niż oddziaływanie gęstość–gęstość zaburzające model Andersona. Oddziaływania te mają minimalne przekrycie z całkami ruchu w modelu Andersona i prowadzą do znacznie szybszego odzyskania ergodycznego zachowania układu. Z punktu widzenia motywacji eksperymentalnej nasuwa się pytanie, w jakim stopniu tego rodzaju zaburzenia stanowią jedynie teoretyczną konstrukcję, a w jakim mogą zostać zrealizowane na konkretnych platformach eksperymentalnych.

Praca opisana w rozdziale siódmym zamyka cykl, rozważając model z liniowym potencjałem prowadzącym do lokalizacji Starka. Umożliwia to prowadzenie badań analogicznych do wcześniejszych, jednak w znacznie większym stopniu opartych na obliczeniach analitycznych, wynikających ze znanego rozwiązania analitycznego modelu z lokalizacją Starka. Ostatni, ósmy rozdział stanowi podsumowanie oraz próbę spojrzenia na tematykę i metodologię badań lokalizacji wielociałowej przez pryzmat wyników uzyskanych w ramach przedłożonego doktoratu. Autor trafnie wskazuje ograniczenia dominującej obecnie metodologii, sugerując ścieżkę analityczną jako potencjalny sposób rozstrzygnięcia fundamentalnych pytań w tej dziedzinie. Sama propozycja ma charakter ogólny i mogłaby znaleźć zastosowanie w niemal dowolnej problematyce badawczej. Kluczowe pozostaje jednak pytanie, gdzie należy poszukiwać odpowiednich modeli umożliwiających realizację takiego podejścia. W szczególności interesuje mnie, czy zdaniem autora uzyskane przez niego wyniki, wskazujące na bliski związek oddziaływania gęstość–gęstość z całkami ruchu w modelu Andersona, mogą w przyszłości doprowadzić do rozwinięcia takiego podejścia, na przykład w ramach rachunku perturbacyjnego oraz czy sama bliskość tych modeli czyni model Heisenberga z nieporządkiem niewłaściwym bądź mało interesującym w



UNIwersytet
Jagielloński
w Krakowie

Instytut Fizyki

Teoretycznej

Zakład Kwantowej

Teorii Wielu Ciał

ul. St. Łojasiewicza 11

PL 30-348 Kraków

badaniach nad lokalizacją wielociałową.

Część rozprawy doktorskiej obudowująca artykuły została napisana w języku polskim, natomiast same opublikowane prace zamieszczono w oryginalnej wersji anglojęzycznej. Warstwa edytorska rozprawy jest bardzo staranna i praktycznie nie udało mi się dostrzec uchybień redakcyjnych. Dobór literatury jest właściwy i wyczerpujący, świadcząc o dobrym rozeznaniu doktoranta w badanej dziedzinie.

Podsumowując, stwierdzam, że przedłożona rozprawa doktorska pana Bartosza Krajewskiego spełnia wszystkie ustawowe oraz zwyczajowe wymagania stawiane rozprawom doktorskim. Praca ta dowodzi rozległej wiedzy teoretycznej doktoranta oraz potwierdza jego zdolność do samodzielnego prowadzenia badań naukowych. W związku z powyższym wnoszę o dopuszczenie pana Bartosza Krajewskiego do dalszych etapów postępowania w sprawie nadania stopnia doktora.



UNIwersytet
JAGIELLOŃSKI
W KRAKOWIE

Instytut Fizyki
Teoretycznej
Zakład Kwantowej
Teorii Wiele Ciał
ul. St. Łojasiewicza 11
PL 30-348 Kraków

Z poważaniem,

dr hab. Marek Rams

Podpisany elektronicznie przez
Marek Rams
11.05.2026
15:14:23 +02'00'