

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, 8 maja 2025



Instytut Fizyki

Teoretycznej

Zakład Kwantowej

Teorii Wielu Ciał

ul. St. Łojasiewicza 11

PL 30-348 Kraków

Recenzja pracy doktorskiej
pana mgr. João Pedro Vieirade Mendonça Santos
pt. *“Studying strongly correlated hybrid quantum systems through*
quantum simulations and efficient numerical approaches”

Praca doktorska pana João Mendonça jest pracą teoretyczną na pograniczu optyki atomowej i kwantowych układów silnie skorelowanych. Łączy ona głębokie zrozumienie teoretyczne rozważanych problemów z rozwojem zaawansowanych metod numerycznych. Praca została napisana pod opieką promotora dr. hab. Krzysztofa Jachymskiego i bazuje na trzech artykułach, w tym jednym dwuautorskim, który pan Mendonça napisał wspólnie z promotorem. Artykuł ten został opublikowany w cenionym czasopiśmie Physical Review A. Pozostałe dwa artykuły, o których wspomina doktorant, są trzyautorskie: jeden to preprint, a drugi znajduje się obecnie w przygotowaniu. We wszystkich tych pracach pan Mendonça figuruje jako pierwszy autor, co tradycyjnie utożsamia się z kluczową rolą, jaką odegrał w ich powstaniu.

Praca koncentruje się głównie na rozwoju wariacyjnej metody obliczeniowej dla hybrydowych układów kwantowych. W układach takich, spinowe lub fermionowe oddziałujące układy wielociałowe są sprzężone z traktowanymi kwantowo stopniami swobody fononowymi lub fotonowymi. Autorzy określają swoje podejście wariacyjne jako podejście hybrydowe, choć można uznać, że termin ten jest stosunkowo mało deskryptywny.

Praca składa się z ośmiu rozdziałów, licząc w tym wstęp i podsumowanie. Pierwsze pięć rozdziałów przedstawia solidne podstawy teoretyczne oraz



UNIwersytet
JAGIELLOŃSKI
W KRAKOWIE

Instytut Fizyki

Teoretycznej

Zakład Kwantowej

Teorii Wielu Ciał

ul. St. Łojasiewicza 11

PL 30-348 Kraków

motywację do podjęcia tematyki badań stanowiących treść doktoratu. Autor prowadzi czytelnika przez wprowadzenie do kwantowej elektrodynamiki w wnęce i oddziaływania takiego pola z atomami, systemy elektronowe na sieci i ich oddziaływanie z modami fononowymi, modele Hubbarda-Holsteina oraz Dicka, stany Gaussowskie i klasę transformacji typu Langa-Firsova splątujących stopnie swobody fotonowe/fononowe ze stopniami spinowymi/elektronowymi. Połączenie tych dwóch ostatnich koncepcji umożliwia budowanie stanów niegaussowskich (nazwę uważam na niefortunną, bo określa ona czym stan nie jest, a nie czym jest) które są kluczowym elementem ansatzu wariacyjnego na którym bazuje rozważane podejście hybrydowe. Rozdziały te mają duży walor edukacyjny i demonstrują szeroką wiedzę teoretyczną doktoranta z dziedziny. Cytowania do literatury tematu są wyczerpujące, podobnie jak przedstawiona motywacja zastosowanego podejścia wariacyjnego.

Właściwe wyniki uzyskane przez doktoranta są przedstawione w rozdziałach 6 i 7. Autor najpierw proponuje i analizuje symulację kwantową opartą na atomach rydbergowskich, która umożliwiałaby modelowanie szerokiego spektrum modeli typu Hubbarda-Holsteina. Następnie omawia eksperymenty numeryczne testujące algorytm hybrydowy w szczególnym przypadku jednowymiarowego jednorodnego modelu Hubbarda-Holsteina oraz dla modelu Dickego z oddziaływaniem spin-spin. Rozwijana metoda numeryczna jest bez wątpienia bardzo obiecująca i otwiera drogę do dalszych prac i projektów, o których doktorant zresztą wspomina.

Czytając rozdziały 6 i 7 odczuwam jednak pewien niedosyt. Chociaż dyskusja fizyki uzyskanych wyników jest wyczerpująca, brakuje bardziej szczegółowej analizy technicznych aspektów związanych z zastosowaniem tak złożonej metody numerycznej. Można by tu zadać pytania dotyczące na przykład zbieżności tego podejścia i wpływu doboru warunków początkowych na wyniki. W kontekście porównania z wynikami innych metod w rozdziale 6, zastanawiam się na ile porównanie to jest jakościowe, a na ile ilościowe oraz nad tym do jakiego stopnia porównanie ilościowe byłoby tutaj w ogóle uzasadnione. Przejścia fazowe przedstawione przez doktoranta w rozdziale 6 bazując na wynikach dla małej liczby fermionów. Czy warto byłoby tutaj rozważyć systematyczne zastosowanie skalowania w skończonej wielkości układu? Strategia taka mogłaby pozwolić lepiej lokalizować i charakteryzować obserwowane przejścia, zwłaszcza że jak

zaznaczono w pracy efekty skończonego systemu są tutaj często znaczące. Wreszcie, dla układów translacyjnie niezmienniczych istnieją wersje algorytmów bazujących na macierzowych stanach produktowych, które działają bezpośrednio w granicy termodynamicznej. Czy możliwe byłoby rozszerzenie rozważanego podejścia hybrydowego tak, aby korzystając z tych narzędzi pracować bezpośrednio w granicy termodynamicznej?

Praca liczy około 100 stron i jest napisana w języku angielskim, zachowując dobry styl naukowy. Przyznaję, że pracę czytało mi się bardzo płynnie, a autorowi udało się znaleźć odpowiednią równowagę między zwięzłością a szczegółowością opisu. Pod względem edytorskim praca została przygotowana bardzo starannie - zauważyłem jedynie pojedyncze literówki.

Podsumowując, uważam, że przedłożona rozprawa doktorska pana João Mendonça spełnia wszystkie wymagania stawiane takim pracom. W szczególności prezentuje ona wiedzę teoretyczną doktoranta w dyscyplinie, stanowi przesłankę, że doktorant jest w stanie samodzielnie prowadzić badania naukowe, oraz zawiera oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. W związku z tym wnioskuję o dopuszczenie go do dalszych etapów postępowania w procesie nadania stopnia naukowego doktora.

Z poważaniem,

dr hab. Marek Rams



Podpisany elektronicznie przez
Marek Rams
08.05.2025
19:43:21 +02'00'



UNIwersytet
JAGIELLOŃSKI
W KRAKOWIE

Instytut Fizyki

Teoretycznej

Zakład Kwantowej

Teorii Wielu Ciał

ul. St. Łojasiewicza 11

PL 30-348 Kraków