

Warszawa, dn. 26 listopada 2021 r.

dr hab. Emilia Witkowska

Instytut Fizyki Polskiej Akademii Nauk

Oddział Fizyki Teoretycznej

Aleja Lotników 32/46

**Recenzja rozprawy doktorskiej magistra Michała Białończyka  
pt. „Nierównowagowa dynamika kwantowych układów spinowych  
w pobliżu punktów krytycznych”**

Przedłożona mi praca doktorska została napisana pod opieką dr hab. Bogdana Damskiego w Zakładzie Optyki Atomowej Wydziału Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie. Rozprawa dotyczy teoretycznej analizy dynamiki kwantowych przejść fazowych w wielociałowych układach spinowych. Część naukowa pracy oparta została na oryginalnych wynikach Doktoranta podsumowanych w trzech dwuautorskich artykułach opublikowanych w wiodących czasopismach naukowych. Doktorant jest również współautorem dwóch innych publikacji wykraczających poza tematykę pracy doktorskiej. Warto podkreślić, że jest on pierwszym autorem wszystkich pięciu artykułów, które łącznie dają bardzo dobry dorobek naukowy na tym etapie kariery akademickiej.

Podjęta tematyka badawcza jest aktywnie rozwijana teoretycznie i doświadczalnie w czołowych ośrodkach naukowych na świecie. Praca doktorska Michała Białończyka bardzo dobrze wpisuje się w ten kierunek współczesnych badań. Poszczególne zadania, jak na przykład szczegółowa analiza dynamiki dla przejścia zatrzymanego w punkcie krytycznym, są relatywnie nowatorskie w kontekście układów spinowych. Doktorant pokazuje, że analiza ewolucji dla przejść zatrzymanych w punkcie krytycznym, lub w jego pobliżu, może służyć do wyznaczenia ważnych wielkości takich jak przerwa energetyczna lub położenie punktu krytycznego. Dlatego w swojej pracy Michała Białończyka uważnie dobiera stan początkowy jak również i punkt zatrzymania ewolucji, które pozwolą na efektywne oszacowanie pożądaných wielkości. Wybór tematyki badawczej uważam w pełni za trafny i uzasadniony. Wyniki badań Doktoranta są bardzo ciekawe i ważne w rozwoju teorii nierównowagowych kwantowych przejść fazowych. Mogą one również posłużyć do efektywnego planowania przyszłych doświadczeń.

Recenzowana przeze mnie rozprawa została napisana w języku polskim i liczy 77 stron łącznie z bibliografią. Składa się ona z pięciu rozdziałów, wstępu i końcowego podsumowania. Pierwsze dwa rozdziały mają charakter wprowadzenia do teorii przejść fazowych, w tym mechanizmu Kibblla-Żurka, oraz sieci spinowych. Wyjaśniają niezbędne pojęcia oraz metody używane w kolejnych rozdziałach rozprawy do opisu rozszerzonego modelu XY i jego szczególnego przypadku, a mianowicie modelu Isinga. Następne trzy rozdziały stanowią część główną rozprawy zawierającą szczegółowy opis wyników Doktoranta. Każdy z rozdziałów związany jest, w mniejszym lub większym stopniu, z konkretnym artykułem wcześniej opublikowanym. Miejsce opublikowania wymienionych artykułów stanowi o sile zawartości merytorycznej rozprawy.

Część główna rozprawy zawiera trzy rozdziały szczegółowo opisujące oryginalne wyniki Doktoranta. Poniżej omówię pokrótce rozdziały części głównej oraz przedstawię uwagi i pytania, które warto byłoby omówić podczas obrony rozprawy doktorskiej.

Pierwszy rozdział zawierający oryginalne wyniki Michała Białończyka dotyczy analizy swobodnej ewolucji magnetyzacji poprzecznej oraz tzw. echa Loschmidta w modelu Isinga dla stanu zatrzymanego w punkcie krytycznym. A dokładniej, dla nierównowagowego stanu otrzymanego na skutek przejścia z fazy paramagnetycznej do punktu krytycznego. Doktorant dokonuje ciekawej obserwacji, a mianowicie ewolucja obu wielkości wykazuje periodycznie pojawiające się wąskie maksima, których amplituda zmniejsza się w czasie. Wąskie maksima przypominają swoją periodycznością zaniki i odrodzenia oscylacji w modelu Jaynesa-Cummingsa, choć szczegóły poszczególnych maksimów są zupełnie inne. Doktorant wnikliwie opisuje zależność amplitudy, szerokości połowkowej i częstości występujących pików od szczegółów przejścia, stosując ściśle metody numeryczne i przybliżone metody analityczne. Wyniki przedstawione w tej części rozprawy są bardzo ciekawe. Zastanawia mnie jednak czy inne obserwowalne również wykazują charakterystyczną periodyczną ewolucję? Jeśli tak, to jaka byłaby to grupa wielkości fizycznych? Brakuje mi w tym rozdziale krótkiego wyjaśnienia doboru obserwabli, jak również intuicyjnego i fizycznego komentarza dotyczącego powodu periodycznie występujących pików.

Tematyka rozdziału czwartego jest rozwinięciem badań zapoczątkowanych w rozdziale trzecim na analizę zjawiska łamania symetrii w fazie ferromagnetycznej. A dokładnie na wyznaczeniu przerwy energetycznej związanej z łamaniem symetrii. Doktorant jasno i klarownie wyjaśnia użycie terminu „łamanie symetrii” w tym konkretnym przypadku. Schemat postępowania zbliżony jest do zastosowanego w poprzednim rozdziale, z tą różnicą, że tym razem swobodna ewolucja następuje dla stanu zatrzymanego w trzech punktach, w których przerwa energetyczna jest obliczana. Wielkością charakteryzującą nierównowagową dynamikę i wykazującą periodyczne zachowanie jest magnetyzacja podłużna. Doktorant niezwykle szczegółowo oblicza częstości i amplitudy oscylacji stosując różne metody i pokazuje, że ich wnikliwa analiza pozwala na wyznaczenie przerwy energetycznej. Pod koniec lektury tego rozdziału pojawia się szereg pytań, między innymi jakie są inne metody wyznaczania przerwy energetycznej? Jakie są zalety metody zaproponowanej przez Doktoranta? Oraz, jaka jest zależność wyznaczonej przerwy od rozmiaru układu? Jeśli taka istnieje, to czy można ją policzyć lub zmierzyć?

Ostatni rozdział części głównej rozprawy jest propozycją dla dokładnego wyznaczenia położenia punktu krytycznego za pomocą przejść dwustronnych, czyli takich, w których dwa różne stany początkowe znajdują się po obu stronach punktu krytycznego. Doktorant stosuje metodę dla rozszerzonego modelu XY i modelu Isinga. Szczegółowa analiza podatności magnetycznej, a konkretnie pozycji jej globalnego maksimum, pozwala na dokładne wyznaczenie położenia punktu krytycznego. Analiza jaką przeprowadził Doktorant zakłada, że stany znajdują się symetrycznie po obu stronach punktu krytycznego. Co się dzieje jeśli tak nie jest? Czy wtedy metoda jest poprawna, jeśli nie to jak można byłoby ją zmodyfikować? Również w tym rozdziale brakuje odwołania do innych metod wyznaczania punktu krytycznego i dyskusji potencjalnych korzyści z zastosowania metody zaproponowanej przez Doktoranta.

Michał Białończyk wykorzystał w swojej pracy doktorskiej 95 naukowych pozycji bibliograficznych. Pod względem jakościowym literatura jest dobrana prawidłowo, jest zróżnicowana i bogata. Również pod względem redakcyjnym i lingwistycznym, a także w zakresie stosowania poprawnych zasad dla odsyłaczy bibliograficznych, pracę oceniam bardzo wysoko. Jak w każdym tego typu opracowaniu, również w pracy Michała Białończyka można znaleźć usterki (np. brak operatora  $\partial$  w równaniu (2.20) na s. 21). Jednak tego typu usterki zdarzają się nawet w bardzo dobrych czasopismach po profesjonalnej korekcie, stąd nie należy w moim osądzie przywiązywać do nich dużej wagi. Rozprawa została napisana bardzo starannie i przejrzysto, a jej układ nie budzi większych zastrzeżeń.

Mimo powyższych uwag i pytań, jakie nasunęły się podczas lektury rozprawy, moja ocena pracy jest bardzo wysoka. Widać w niej szerokie spektrum zainteresowań Autora, jak również stosowanych narzędzi, od przybliżonych i ścisłych metod analitycznych poprzez metody numeryczne. Bibliografia jest bogata i pokazuje szerokie horyzonty Doktoranta oraz dobrą orientację w literaturze. Widać też wysiłek Doktoranta włożony w głębokie zrozumienie dynamiki rozważanych układów w pobliżu punktów krytycznych. Z pełnym przekonaniem stwierdzam, że praca doktorska magistra Michała Białończyka spełnia zwyczajowe i ustawowe kryteria stawiane kandydatom w Ustawie o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. z 2016 r. poz. 882). Wnoszę o dopuszczenie magistra Michała Białończyka do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Emilia Witkowska