

Chorzów, 24.12.2025

Prof. dr hab. Jerzy Dajka  
Instytut Fizyki,  
Uniwersytet Śląski w Katowicach

**Rada Dyscypliny Nauki Fizyczne  
Akademia Górniczo-Hutnicza**

**Recenzja rozprawy doktorskiej**

**Pana Dariusza Woźniaka**

***Dynamics of Quantum State in One-Dimensional Open Systems with random  
Perturbation: Phase-Space Approach***

Jedną z podstawowych różnic między mechaniką klasyczną i kwantową wskazywany bywa matematyczny charakter przestrzeni stanów. Przestrzenie funkcyjne, a nawet skończone wymiarowe zespolone przestrzenie liniowe, niezbędne w 'hilbertowskim' ujęciu kwantów niemal od zarania ich dziejów, czyli początku dwudziestego wieku, rodziły naturalne i często nierozwiązywalne na gruncie fizyki problemy interpretacyjne. Użycie pojęć i technik szeroko tytułowanych metodami przestrzeni fazowych stanowiło i wciąż stanowi atrakcyjne podejście pozwalające nie tylko na rozjaśnienie mgły interpretacyjnej, ale, co najważniejsze, na uzyskanie nowych i ważnych wyników w sposób nierzadko prostszy i bardziej intuicyjny. Historycznie patrząc, liczne przykłady znaleźć można na polu działania optyki kwantowej.



Recenzowana rozprawa doktorska wpisuje się w nurt badań nad otwartymi układami kwantowymi prowadzonych przy wykorzystaniu metod przestrzeni fazowych. Jakkolwiek praca ma charakter teoretyczny, uzyskane wyniki mają istotny walor aplikacyjny. Z jednej strony wyniki ujęte w rozprawie istotnie poszerzają naszą wiedzę dotyczącą metod przestrzeni fazowych w zastosowaniu do układów otwartych, z drugiej natomiast mogą być bezpośrednio stosowane do opisu szerokiej klasy układów w skali nano, a zatem w obszarze synergii świata klasycznego i kwantowego.

Rozprawa stanowi zamkniętą całość, poczynając od wprowadzenia do ogólnej teorii kwantowych układów otwartych i formalizmu przestrzeni fazowych w rozdziałach 1. oraz 2., poprzez nowe i ważne wyniki teoretyczne w rozdziale 3. wykorzystane później w rozdziale 4., po ciekawe i obiecujące perspektywy dalszych badań kończące rozprawę. Bibliografia rozprawy jest właściwie dobrana. Appendixy A-E nie tylko ułatwiają odbiorcy rozprawy percepcję stosowanych pojęć matematycznych, lecz również w zasadny sposób przesuwać część obliczeń poza główny nurt wywodu. Ostatni z dodatków zawiera reprinty publikacji, których współautorem jest Autor rozprawy. Warto podkreślić, że prace opublikowano w prestiżowych czasopismach, jednak recenzowana rozprawa w zakresie formy i treści prezentowanych wyników pozostaje istotnie odmienna od wcześniej opublikowanych i wnosi istotną i nową jakość do omawianych badań, co wyklucza ewentualne cechy autoplagiatu.

Rozdział 3. rozprawy jest kluczowy dla wyników przedstawionych w dalszej części pracy. Zawiera on teoretyczny fundament analizy równań ruchu układów otwartych w formalizmie funkcji Wignera opierający się metodzie 'split-operator' (przyjmuję tu terminologię użytą w polskojęzycznym Streszczeniu pracy), która istotnie upraszcza numeryczne rozwiązania wcześniej wyprowadzonych równań dla jednowymiarowych układów sprzężonych z N-wymiarowym otoczeniem. W rozprawie w sposób ścisły wskazano przyczyny tych uproszczeń, wiążąc je z możliwością odseparowania części kinetycznej operatora ewolucji.

Rozdział 4. rozprawy zawiera główne wyniki pracy. Należy podkreślić, że wyniki otrzymano przyjmując za punkt wyjścia równie ruchu typu GSKL w przestrzeni fazowej z użyciem funkcji Wignera (WDF). Podejście to samo w sobie jest bardzo ciekawe, gdyż



pozwała wskazać nietrywialne związki pomiędzy operatorami używanych w hilbertowskich ujęciach mechaniki kwantowej a ich odpowiednikami (acz niekoniecznie równoważnikami) w przestrzeni fazowej. Użycie metody ‘split’ przygotowało grunt dla metod numerycznych implementowanych przez Autora. Trochę szkoda, że odpowiednie kody nie zostały dołączone jako część rozprawy. Kolejna część rozprawy zawiera propozycję opisu dynamiki układu, gdzie odpowiednia funkcja Wignera jest zastąpiona wielkością uśrednioną. Uzyskane wyniki pozwalają na skuteczny opis układów w obecności szerokiej klasy zaburzeń spełniających dość podstawowe wymagania statystyczne. Rozdział 4.5 zawiera główne wyniki numeryczne rozprawy z uwzględnieniem czterech głównych obszarów. Pierwszy, w którym bada się parametry statystyczne wybranych obserwacji (położenie, pęd); drugi, opisujący charakterystyki przestrzeni fazowej związane (między innymi) z nieklasyczością układów; wreszcie trzeci i czwarty, gdzie opisano, odpowiednio, charakterystyki stanów i odległości między nimi. Rozwiązania numeryczne prezentowane są dla jednowymiarowych układów (zamkniętych i otwartych) w obecności barier gaussowskich (pojedynczych i łańcuchów) o losowo zaburzanych centrach. W rozprawie porównano zarówno odmienne typy zaburzeń (gaussowski i jednorodny) oraz przybliżenia wcześniej zaproponowane w rozprawie. Analizie poddano parametry, które można zakwalifikować do czterech powyżej wskazanych obszarów. Uzyskane wyniki poddane zostały szczegółowej analizie. Szczególnie istotna jest analiza porównawcza wyników uzyskanych w drodze uśredniania po zespole realizacji z wynikami otrzymanymi w drodze analizy przybliżonej zaproponowanej w rozprawie. Autor szczegółowo (w Rozdziale 4.5.4) dyskutuje różnice wyników między podejściami i wskazuje na ich przyczyny. Trochę szkoda, że w tej części rozprawy nie zostały wskazane obszary (np. zakresy czasu ewolucji w relacji do parametrów układu), w których można oczekiwać zgodności wyników otrzymanych przy użyciu każdego z podejść.

Rozprawę kończy podsumowanie, w którym Autor wskazuje na obszary, które mogą stanowić naturalną kontynuację prowadzonych badań. Zaproponowane kierunki są obiecujące, gdyż oprócz poszerzenia klasy badanych układów lepszego zrozumienia ich matematycznych własności, ich wyniki mogą stanowić wstęp do skutecznych badań nierównowagowych własności termodynamicznych kwantowych układów otwartych.



Stwierdzam zatem, że rozprawa, którą recenzuję, spełnia w mojej ocenie standardy stawiane rozprawom doktorskim, zarówno ustawowe (to jest zgodne z art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce*, z późniejszymi zmianami) jak i te zwyczajowe. Bez zastrzeżeń zatem **wnoszę o dopuszczenie Pana Dariusza Woźniaka do dalszych etapów postępowania** o nadanie stopnia doktora w dyscyplinie nauk fizycznych.

Nadto, mając na uwadze wysoki poziom naukowy recenzowanej rozprawy oraz wagę uzyskanych i ujętych w pracy wyników, bez cienia wahania rekomenduję **wyróżnienie** rozprawy.

Z poważaniem,



Jerzy Dajka

