

Chorzów, 25.05.2026

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

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

Recenzja rozprawy doktorskiej Pana Macieja Kalki

***„Zastosowanie metod entropowych do badania dynamiki stanów w „małych” układach
kwantowych- ujęcie przestrzenno-fazowe”***

O tym, że mechanika kwantowa jest właściwym formalizmem opisu mikroświata nie trzeba (niemal) nikogo przekonywać. Wiemy również, że wraz ze „wzrostem” badanego układu staje się on coraz bardziej klasyczny, aż w końcu do jego opisu (niemal) każdy bez obaw stosuje mechanikę klasyczną. Gdzieś po drodze dostrzega się konieczność zastosowania metod, które dodają do formalizmu przymiotnik „statystyczny/a”. Dobór formalizmu staje się mniej oczywisty na granicy klasyczno-kwantowej, gdzie układy, już złożone, są wciąż na tyle „małe”, aby efekty kwantowe grały w nich najistotniejszą rolę.

Recenzowana praca doktorska jest zapisem ciekawych i skutecznych badań prowadzonych właśnie w tym obszarze. Zastosowany opis przestrzenno-fazowy jest powszechnie akceptowalnym kandydatem nie tylko skutecznie radzącym sobie z reżimem kwazi-klasycznym, lecz również poprawnie wprowadzającym elementy języka fizyki klasycznej w świat kwantów. W szczególności naturalnym jest pytanie czym jest i jak mierzyć „kwantowość”. Tutaj, jak pokazane jest w recenzowanej pracy, metody entropowe w połączeniu z formalizmem przestrzeni fazowych są ciekawą i bardzo obiecującą propozycją.

Zaproponowane w pracy wprowadzenie entropii Wignera-Renyiego do mierzenia „nieklasyczności” jest bardzo ważnym, i jak podkreśla Autor rozprawy, głównym teoretycznym wynikiem pracy, który, jak pokazują dalsze rozdziały pracy, skutecznie można użyć nie tylko w opisie flagowych reprezentantów stanów badanych w optyce kwantowej, lecz również w biologii, a zatem tradycyjnym „bastionie klasyczności” skutecznie opierającym się próbom wskazania istotnych efektów wymagających opisu kwantowego.

Recenzowana rozprawa składa się z czterech rozdziałów i obszernego Dodatku, który jest istotnym elementem wzbogacającym zawartość pracy. Rozdział pierwszy to Wstęp, który pozwala czytelnikom umiejscowić opisane w pracy badania w szerszym kontekście, a jednocześnie pozwala dostrzec znaczenie uzyskanych wyników w odniesieniu do współczesnych badań i stawianych współcześnie pytań. Kolejny rozdział to szczegółowe wprowadzenie w formalizm przestrzenno-fazowy w opisie dynamiki kwantowej. Włączenie tego rozdziału do rozprawy nie tylko czyni ją kompletną, ale pozwala czytelnikom rozpoznać istotne aspekty formalizmu niezbędne w dalszych etapach badań. Należy zaznaczyć, że jakkolwiek formalizm w rozdziale drugim wprowadzany jest niemal od zera, prowadzona dyskusja wskazuje na istotne aspekty opisu dynamicznego niezbędne do właściwego zrozumienia nie tylko metod analitycznych użytych w dalszych fragmentach pracy ale, co nawet istotniejsze, do pełnego zrozumienia użytych metod numerycznych.

Rozdział trzeci rozprawy zawiera główne wyniki teoretyczne badań, a zatem dotyczące zaproponowanej entropowej miary nieklasyczności wykorzystującej entropię Wignera-Renyiego. Pojęcie entropii i związane z nią metody badań są niezwykle potężnym narzędziem znajdującym zastosowanie w wielu obszarach wielu dziedzin wiedzy. Jednym z obszarów badawczych pozostają wysoce nietrywialne matematyczne własności różnych rodzajów entropii rozważane w luźnym związku z aspektami fizycznymi badanych układów. Należy zaznaczyć, że prezentowane w rozprawie podejście, jakkolwiek matematycznie ścisłe i bardzo eleganckie, pozwoliło Autorowi uchronić się od nadmiernej matematyzacji poprzez każdorazowe wskazanie istotnych i niebanalnych przykładów nadających badanym pojęciom mocną interpretację fizyczną. Wyniki badań zebrane w rozdziale trzecim rozprawy stanowią nie tylko rdzeń teoretyczny dalszych etapów pracy, ale same w sobie stanowią podstawę dla licznych i różnokierunkowych projektów badawczych.

Uzyskując wyniki spisane w rozdziale trzecim Autor znalazł się na - metaforycznym, rzecz jasna - badawczym rozdrożu, z którego rozchodzi się wiele ścieżek i dróg prowadzących na różnorodne pola badawcze.

Rozdział czwarty rozprawy jest zapisem drogi, którą wybrał Autor, aby zastosować i przetestować wcześniej uzyskane wyniki teoretyczne. Wybór biologii kwantowej, a w szczególności efektu tunelowania protonu w procesie sterowanym promieniowaniem elektromagnetycznym w parze A-T, jest wyborem odważnym, gdyż, niezależnie od akceptowalnej powszechnie skuteczności paradygmatu redukcjonistycznego w naukach przyrodniczych i ścisłych, tautomeryzacja do postaci A*-T*, a zatem migracja protonu jako proces tunelowania, może wiązać się z pominięciem istotnych czynników wpływających na końcowy efekt procesu. Jakkolwiek nie budzi wątpliwości, że tunelowanie istotnie jest procesem leżącym u podstaw procesu powstawania tautomerów A*-T*, użycie formalizmu przestrzenno-fazowego akurat w tej konkretnej sytuacji może być przedmiotem dyskusji, której brakuje w rozprawie. Formalizm przestrzeni fazowych jest narzędziem, które daje możliwość uzyskania szeregu wyników inaczej trudnych do osiągnięcia. Doskonale pokazuje to dyskusja zawarta w rozdziale trzecim rozprawy. Jednakowoż, jak wiele metod mających swe korzenie w optyce kwantowej, formalizm przestrzeni fazowych nie najlepiej radzi sobie z opisem układów kwantowych podlegających silnej dekoherencji. Można zatem zapytać, czy próba zastosowania formalizmu przestrzeni fazowych do zagadnień biologii kwantowej jest wyborem najwłaściwszym w kontekście potencjalnego bilansu korzyści (wymienionych w rozdziale czwartym rozprawy) i strat, jakich przykładem może być zaniedbanie istotnego wkładu efektów dysypatywnych. Niezależnie jednak od tych wątpliwości, wyniki zamieszczone w czwartym rozdziale rozprawy pokazują dużą skuteczność zastosowanego formalizmu w opisie tunelowania w obecności periodycznych wymuszeń. Formalizm Floqueta i związki z wprowadzoną w rozdziale trzecim miarą entropową nieklasyczności wskazują na duży potencjał użytych metod w wielu obszarach badawczych a w szczególności opisu transportu w nanoskali.

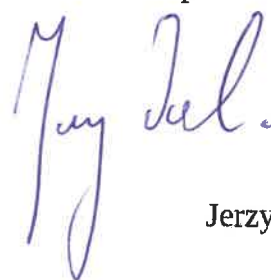
Rozprawę kończy rozdział piąty, w którym Autor nie tylko podsumowuje uzyskane wyniki, ale wskazuje na dalsze perspektywy badawcze. W ujęciu całościowym recenzowana praca doktorska zasługuje na najwyższe noty nie tylko ze względu na ważkość i jakość

uzyskanych wyników, lecz również z powodu jej ponadprzeciętnej czytelności uzyskanej dzięki klarowności prezentacji i spójności zawartych wywodów. Autor skupił się wyłącznie na tych aspektach teoretycznych, które mają istotne znaczenie dla prowadzonych badań, dzięki czemu żaden z fragmentów rozprawy nie mógłby zwyczajnie zostać zastąpiony fragmentem którejś z klasycznych monografii traktujących o przestrzeniach fazowych w kwantach. Bardzo istotne znaczenie dla odbioru i ewentualnego przyszłego wykorzystania rozprawy ma szczegółowe i klarowne omówienie zastosowanych metod numerycznych nadając rozprawie niewątpliwy walor dydaktyczny.

Wysoka jakość rozprawy Pana Macieja Kalki jest w pełnej zgodności z podsumowaniem działalności naukowej Autora zamieszczonym na początku rozprawy, z którego wynika, że Pan Kalka jest badaczem o horyzontach szerokich i rozległych, o bardzo różnorodnym i ciekawym dorobku naukowym, tak publikacyjnym jak i konferencyjnym.

Podsumowując stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska 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. W mojej recenzji jednoznacznie wskazuję, że Autor nie tylko prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną w najszerszej rozumianej dyscyplinie nauki fizyczne, ale rozprawa zawiera oryginalne wyniki stanowiące rozwiązanie ważnych problemów naukowych w istotnych obszarach badawczych. Bez zastrzeżeń zatem wnoszę o dopuszczenie Pana Macieja Kalki do dalszych etapów postępowania o nadanie stopnia doktora w dyscyplinie nauk fizycznych.

Z poważaniem,



Jerzy Dajka