

prof. dr hab. Zbigniew Puchała
Instytut Informatyki
Teoretycznej i Stosowanej PAN
ul. Bałtycka 5, 44-100 Gliwice

Gliwice, 20 lipiec 2024 r.

Recenzja rozprawy doktorskiej mgra Tomasza Patryka Młynika „Odwzorowania k -dodatnie w fizyce”

Uwagi wstępne

Forma recenzowanej rozprawy obejmuje 104 strony, które zostały starannie przygotowane i opracowane. Praca jest napisana w języku polskim i składa się z kilku kluczowych części: wstępu, pięciu rozdziałów merytorycznych, podsumowania oraz dodatku zawierającego listingi programów w języku Matlab. Struktura pracy jest dobrze przemyślana i logicznie uporządkowana, co ułatwia czytelnikowi śledzenie prezentowanych treści i zrozumienie przedstawionych argumentów.

Tytuł pracy precyzyjnie oddaje jej zawartość, co jest istotne z punktu widzenia czytelnika i badaczy zainteresowanych podobną tematyką. Przyjęty układ pracy jest odpowiedni, pozwalając na systematyczne i logiczne przedstawienie badanych problemów i uzyskanych wyników. Całość jest napisana w sposób jasny i zrozumiały, co świadczy o dużej staranności autora w przekazaniu swoich myśli i wyników badań.

Przedmiot rozprawy

W pierwszym rozdziale doktorant wprowadza kontekst historyczny i przedstawia motywację do badania odwzorowań dodatnich, zwłaszcza w kontekście kwantowej teorii informacji. Opisuje znaczenie tych odwzorowań w różnych zastosowaniach oraz wskazuje na kluczowe pytania badawcze, które będą rozpatrywane w dalszych częściach pracy. Wstęp ten ma na celu zarysowanie tła teoretycznego oraz uzasadnienie wyboru tematu.

Drugi rozdział skupia się na wprowadzeniu podstawowych pojęć związanych z wypukłością i przestrzeniami Hilberta, które stanowią fundament dla dalszej analizy. Rozdział ten obejmuje definicje kluczowych koncepcji, takich jak operatory Hermitowskie, normy operatorów oraz pojęcia związane z przestrzeniami Hilberta. Autor przedstawia również teorię splątania kwantowego, ilustrując ją przykładami i opisując narzędzia służące do detekcji tego zjawiska.

Trzeci rozdział stanowi szczegółowe omówienie podstawowych własności odwzorowań dodatnich. Zawiera klasyfikację tych odwzorowań, opis ich reprezentacji oraz metody konstrukcji. Przypomniane są również metody badania własności odwzorowań dodatnich, takie jak kryteria fizikalności i kompletnych dodatnich odwzorowań. Autor zwraca uwagę na ograniczenia, z którymi można się spotkać podczas konstrukcji tych odwzorowań.

W czwartym rozdziale doktorant przedstawia nową koncepcję charakteryzacji odwzorowań dodatnich, opartą na reprezentacjach Choia-Krausa-Stinespringa. Proponuje on nową metodę charakteryzacji k -dodatniości przy użyciu pomocniczego parametru μ_k . Doktorant ilustruje tę metodę za pomocą konkretnego przykładu, demonstrując jej zastosowanie i skuteczność.

Piąty rozdział poświęcony jest praktycznemu zastosowaniu wprowadzonej metody charakteryzacji. Doktorant bada specyficzne odwzorowanie, eksponowane w pracy Millera-Olkiewicza, analizując stożki odwzorowań całkowicie dodatnich i 2-dodatnich. Stwierdza, że te stożki mają wspólną ścianę, co jest istotnym wynikiem w kontekście teorii odwzorowań dodatnich. Ponadto, autor przedstawia algorytm umożliwiający analizę własności stożków odwzorowań k -dodatnich, co stanowi praktyczne narzędzie do dalszych badań w tej dziedzinie.

Ocena końcowa i wnioski

Rozprawa doktorska mgra Tomasza Młynika pt. "Odwzorowania k -dodatnie w fizyce" stanowi ważny wkład w rozwój nauki, zarówno z perspektywy teoretycznej, jak i praktycznej. Praca koncentruje się na szczegółowej analizie i charakteryzacji odwzorowań k -dodatnich, które są istotne dla opisu korelacji kwantowych. Odwzorowania te odgrywają kluczową rolę w kwantowej teorii informacji, zwłaszcza w kontekście detekcji i analizy splątania kwantowego, które jest jednym z fundamentów współczesnej fizyki kwantowej.

Praca Młynika jest innowacyjna w swoim podejściu, ponieważ autor wykorzystuje reprezentacje Choia-Krausa-Stinespringa do charakteryzacji k -dodatniości. Reprezentacje te są niezwykle użyteczne w badaniu właściwości kwantowych systemów fizycznych, umożliwiając dokładne modelowanie i analizę stanów kwantowych. Dzięki temu, wyniki przedstawione w rozprawie nie tylko poszerzają naszą wiedzę teoretyczną, ale także otwierają nowe możliwości badawcze i zastosowania

praktyczne, na przykład w kontekście technologii kwantowych, takich jak kryptografia kwantowa czy kwantowe przetwarzanie informacji.

Istotnym osiągnięciem badawczym autora jest nie tylko charakteryzacja odwzorowań k -dodatnich, ale także analiza geometryczna stożków tych odwzorowań. Szczególnie ważnym wynikiem jest odkrycie, że stożki odwzorowań 2-dodatnich i całkowicie dodatnich mają wspólną ścianę, co ma znaczące implikacje dla teorii operacyjnych w fizyce kwantowej. Analiza ta nie tylko wnosi nowe informacje do teorii odwzorowań, ale również pomaga w lepszym zrozumieniu struktury przestrzeni operatorów kwantowych, co może mieć zastosowanie w wielu obszarach badań nad kwantowymi systemami wielociałowymi.

Warto podkreślić, że doktorant wykazał się nie tylko dogłębną znajomością teoretycznych aspektów badanych zagadnień, ale także zdolnością do ich kreatywnego rozwinięcia i zastosowania w nowych kontekstach. Jego praca jest dowodem na wysoki poziom kompetencji badawczych, umiejętności analitycznych oraz zdolności do rozwiązywania złożonych problemów naukowych. Wkład mgra Tomasza Młynika w rozwój nauk fizycznych, a w szczególności teorii kwantowej informacji, jest znaczący i otwiera nowe kierunki badań, które mogą być kontynuowane przez przyszłych badaczy. Praca ta stanowi ważne osiągnięcie w dziedzinie fizyki, przyczyniając się do lepszego zrozumienia złożonych zjawisk kwantowych i ich potencjalnych zastosowań.

Uważam że przedstawiona rozprawa spełnia wymogi ustawowe stawiane pracom doktorskim w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych w dyscyplinie nauki fizyczne i wnoszę o przyjęcie jej przez Radę Dyscypliny Nauki fizyczne Uniwersytetu Gdańskiego w Gdańsku, oraz o dopuszczenie do publicznej obrony.

Uwagi techniczne niewypływające na część merytoryczną

W pracy można zauważyć pewne drobne uchybienia formalne, które jednak nie wpływają na ogólną merytoryczną ocenę dysertacji. Poniżej przedstawiam kilka przykładów:

- W opisie rysunku 2.4 występuje termin "stożek punktowy", podczas gdy wcześniej doktorant definiował pojęcie "stożka wyostzonego". Jest to prawdopodobnie wynik kalki językowej, co może prowadzić do niejasności w interpretacji tekstu. W pracy należy zachować spójność terminologiczną, aby uniknąć zamieszania i zapewnić czytelnikom jasność przekazu.

- Brak warunku zupełności w definicji bazy ortonormalnej na stronie 17: Przy definicji bazy ortonormalnej na stronie 17, autor pominął istotny element, jakim jest warunek zupełności. Aby baza była ortonormalna, musi ona nie tylko składać się z wektorów ortogonalnych o normie 1, ale także rozpinąć całą przestrzeń, co oznacza, że liczba wektorów w bazie musi odpowiadać wymiarowi przestrzeni (w przypadku skończonego wymiaru). Brak tego warunku może prowadzić do niepełnego zrozumienia koncepcji bazy ortonormalnej.
- Twierdzenie 20: W Twierdzeniu 20 zabrakło kluczowego stwierdzenia, że stany a_i oraz b_i są ortonormalne. Jest to istotna informacja, ponieważ ortonormalność tych stanów jest warunkiem koniecznym dla poprawności sformułowania twierdzenia oraz jego zastosowania w kontekście rozważań zawartych w pracy. Bez tego warunku, wyniki prezentowane w twierdzeniu mogą być błędnie interpretowane lub niewłaściwie stosowane.

Pomimo tych drobnych uchybień formalnych, praca jest bardzo wartościowa pod względem merytorycznym i stanowi istotny wkład w rozwój badań nad odzorowaniami k -dodatnimi w fizyce.

prof. dr hab. Zbigniew Puchała