

Recenzja rozprawy doktorskiej: mgr Ekta Panwar pt. „Characterizing quantum systems based on non-local correlations”

1. Opinia ogólna

Przedstawiona rozprawa jest na wysokim poziomie merytorycznym i dotyczy trudnego problemu charakteryzacji układów w oparciu o zmierzone korelacje kwantowe. Ilość i jakość przedstawionych wyników jest w moim odczuciu zadowalająca i wystarcza do spełnienia wymagań stawianych pracom doktorskim. Sama tematyka jest aktualna i ambitna. Praca doktorska ma 119 stron, z czego 44 stanowią wydruki dwóch publikacji i jednego e-printu obejmujących wyniki będące podstawą pracy. Ta część nie budzi moich zastrzeżeń i jest przykładem porządnej pracy naukowej. Pozostałe strony stanowią wprowadzenie do tematyki i opis uzyskanych wyników.

Pierwsza część rozprawy jest niestety przygotowana mało starannie, ale ma przemyślaną strukturę i zachowana jest poprawność merytoryczna. Złe wrażenie robią liczne literówki oraz brak konsekwencji w oznaczeniach czy pisowni. Polskie streszczenie jest nie zawiera symboli odpowiadających znakom ł,ą,ę,ś,ć,ń,ż. Skutkuje to pojawieniem się takich słów jak np. „moliwoci” zamiast „możliwości.” Podobny problem pojawia się w przypadku nazwisk autorów cytowanych publikacji. W bibliografii zawierającej 135 pozycji, znalazłem 37 literówek (małe litery zamiast wielkich) w samych tytułach. Szczególnie rażące jest wielokrotne pojawianie się „bell” zamiast „Bell.” W tekście też pojawiają się napisy „[cite]” zamiast poprawnych odnośników do literatury. Niekonsekwencja w pisowni przejawia się np. wielokrotnym i naprzemiennym pisaniem „non-locality” i „nonlocality” (np. na stronie 27). Są też sporadyczne literówki w równaniach, np. powyżej równania (2.29) mamy $\langle A_x B_y \rangle = |1|$ zamiast $|\langle A_x B_y \rangle| = 1$. Wielokrotnie zastanawia też brak domkniętych nawiasów (np. strony 16, 29, 31) lub wybrany krój czcionki w równaniach i tekście. Zdarzają się również pojedyncze literówki i błędy gramatyczne w języku angielskim [np. linijka nad równaniem (2.17) lub pierwsze zdanie rozdziału 2.6]. Użycie skrótów typu „it’s” zamiast pełnych wyrażen też nie sprawia dobrego wrażenia [np. linijka pod równaniem (2.22)]. W paru miejscach również brak jest definicji zastosowanych symboli. Wszystko to razem sprawia, że praca nie jest łatwą lekturą, gdyż należy korzystać z wydruków oddzielnych prac złożonych do publikacji aby w pełni zrozumieć część referującą zebrane wyniki, niż w drugą stronę. W moim odczuciu brakuje np. opisu takich zagadnień jak baza Gröbnera, wyjaśnienia co oznacza rząd $1+AB$ w hierarchii NPA oraz jak zdefiniowana jest faza $\phi(N)$.

Stopień zaangażowania mgr Panwar w uzyskanie przedstawionych wyników jest adekwatnie udokumentowany w oświadczeniach współautorów i opisany wkład jest wystarczający do spełnienia wymagań stawianych pracom doktorskim.

2. Ocena merytoryczna

a. Znaczenie problematyki w recenzowanej rozprawie

Tematyka poruszana w rozprawie jest ważna w odniesieniu do zastosowań i opisu układów złożonych wykazujących zachowania nieklasyczne. Do takich zastosowań należy, między innymi, komunikacja kwantowa, gdzie gwarantem bezpieczeństwa są prawa fizyki kwantowej. Bezpieczeństwo i prywatność komunikacji ma zasadnicze znaczenie dla wszystkich osób korzystających ze zdalnej komunikacji do przesyłania wrażliwych danych.

b. Metodyka badawcza (założenia, cele, metody)

Cel badań jest badanie i certyfikowanie korelacji nieklasycznych w sposób niezależny od stosowanych urządzeń pomiarowych. Badania skupione są nielokalności i nieklasyczności badanych układów. W przypadku nielokalności badany był ważny ze względów aplikacyjnych przypadek skończonej sprawności detektorów w pomiarach rzutowych stanów kwantowych. W tym przypadku badany był opis geometryczny przestrzeni rozkładów częstości wyników pomiarowych w różnorodnych scenariuszach przy zachowaniu zgodności z prawami fizyki kwantowej. W szczególności skupiono się na dwóch dwuwartościowych obserwablach dla scenariuszy uwzględniających N uczestników (podukładów). W tym przypadku wykorzystano konstruktywnie lemat Jordana do opracowania samotestowania maksymalnego łamania nierówności liniowych (MABK, WWŻ) i kwadratowych (rodzina nierówności Uffinka). Celem badań nad samotestowaniem jest znalezienie pary stan-nierówność pozwalającej na przeprowadzenie weryfikacji nielokalności korelacji kwantowych w oderwaniu od założeń na temat stosowanych układów doświadczalnych. W celu uwzględnienia niedoskonałości eksperymentalnych w przypadku tworzenia stwierdzeń o samotestowaniu wykorzystano hierarchię NPA i programowanie wypukłe. Pokrewnym zagadnieniem poruszonym w rozprawie było certyfikowanie (z zamknięciem luki detekcyjnej) nielokalności w przypadku nierówności CHSH i braku idealnych detektorów. Tutaj opracowano podejście wykorzystujące lemat Jordana do określenia sparametryzowanej formy operatora Bella zależnej od sprawności detektorów. Problem certyfikowania nielokalności przy użyciu detektorów o skończonej sprawności jest sprowadzany do problemu maksymalnego łamania zmodyfikowanych nierówności CHSH w idealnych warunkach. Uzyskane są wyrażenia opisujące maksymalne łamanie tych nierówności, które zostały otrzymane z wykorzystaniem bazy Gröbnera. Okazuje się, że w tym przypadku ani podejście SOS ani hierarchia NPA nie pozwalają na skonstruowanie w zadowalający sposób stwierdzeń o samotestowaniu w całym przedziale badanych parametrów np. ze względu na wymagania dotyczące rzędu macierzy momentów w hierarchii NPA. Problem jest jednak rozwiązany przez zastosowanie w nowatorski sposób lematu Jordana.

W przypadku badania własności układów pośredniczących w oddziaływaniach mamy do czynienia z innymi metodami, w tym między innymi z formalizmem procesów kwantowych. Celem badań było wykazania, że dzięki badaniu korelacji między układami, między którymi nie ma bezpośredniego oddziaływania, można badać nieklasyczność oddziaływania z układem pośredniczącym poprzez wnioskowanie o możliwych własnościach odwzorowań opisujących dynamikę układu pośredniczącego. W ten sposób wprowadzono formalne wielkości mierzące stopień nieklasyczności układu pośredniczącego w oddziaływaniu między dwoma podukładami jedynie na podstawie korelacji między tymi podukładami i optymalizacji po parametrach odpowiadającym złożeniu klasycznych odwzorowań. Dzięki temu możliwe jest formalne badanie nieklasyczności hipotetycznego układu pośredniczącego, czy samego oddziaływania. Takie narzędzie może być zastosowane w badaniu natury oddziaływań.

c. Struktura rozprawy

Rozprawa jest podzielona na logicznie następujące po sobie rozdziały, z których każdy stanowi spójną całość. Negatywnie na spójność wpływa niekonsekwencja w oznaczeniach. Jednak kontekst i podobieństwo stosowanych zamiennie oznaczeń pozwalają czytelnikowi na uporanie się z tą niedogodnością.

d. Wykorzystana literatura

Praca jest opatrzona obszerną i kompletną bibliografią (135 pozycji), w której jednak znajdują się błędy redakcyjne. Niektóre nazwiska i skróty nie są poprawnie zapisane. Nazwy czasopism nie są konsekwentnie zapisane skrótowo albo pełną nazwą. Dodatkowe informacje o wykorzystanej literaturze można również znaleźć w załączonych wydrukach publikacji i eprintu.

e. Szczegółowa ocena merytoryczna poszczególnych części rozprawy

Rozdział 1 służy wprowadzeniu do tematyki rozprawy i jest napisany w sposób satysfakcjonujący.

W rozdziale 2 opisane są zagadnienia techniczne i metodologii stosowana w badaniach. Ogólnie rozdział napisany jest zrozumiale, ale czasem brakuje staranności, precyzji i dodatkowych wyjaśnień, np. na stronie 12 wyjaśnienie terminu „distilable entanglement” jest mało jasne, gdyż nie wiadomo co należy rozumieć przez „amount of pure entanglement.” Na tej samej stronie znajduje się również stwierdzenie of formie stanu sparowalnego, bez podania warunków na wartości parametrów p_i . Z kolei na stronie 11 znajdujemy np. odnośnik do pozycji w literaturze „[cite]”. W większości przypadków można łatwo domyśleć się o co chodzi, ale problem jest np. brak wyjaśnienia znaczenia wielkości \bar{R}_α na stronie 20 a twierdzenie na stronie kolejnej podane jest bez odnośnika do literatury bądź dowodu.

Rozdział 3 w zwięzły sposób opisuje uzyskane wyniki. Ten rozdział również nie jest wolny od błędów redakcyjnych. Przykładem jest definicja stanu w punkcie „Eigenvector” na stronie 39, na której brakuje np. parametru α , wyjaśnienia znaczenia symbolu \oplus oraz $\phi(N)$. Na stronie 41 zabrakło wyjaśnienia roli symboli odpowiedzialnych za „deterministic assignment strategies”.

f. Język i formalna strona rozprawy

Praca została napisana w większości w dobrym naukowym stylu, w języku angielskim. Praca jest słabo zredagowana z brakiem dbałości o szczegóły. Pojawiają się liczne literówki i inne błędy, np. nazwisko Bell czy Einstein pisane małą literą. Styl również bywa nietypowy dla rozprawy doktorskiej. Zamiast pełnych zwrotów „we have” czy „it is” możemy znaleźć skróty „we’ve” czy „it’s”. Użycie wielkich i małych liter, daszków na operatorami, nawiasów oraz przecinków jest niekonsekwentne. Liczne pozycje bibliograficzne mają nieodpowiednio zapisane tytuły oraz są niekonsekwentnie sformatowane. Wszystko to sprawia wrażenie jakby przez pomyłkę zamiast wersji ostatecznej do recenzji została wysłana wczesna wersja rozprawy. Mimo istotnego

wpływu na odbiór pracy te niedociągnięcia, nie zacierają jednak mojego pozytywnego wrażenia odnośnie jakości naukowej przedstawionej rozprawy.

3. Pytania problemowe

- a. Jakie znaczenie ma baza Gröbnera? Czy jej zastosowanie jest konieczne do uzyskania opisanych wyników?
- b. Co oznacza rząd 1+AB w hierarchii NPA?
- c. Jak zdefiniowana jest faza $\phi(N)$ dla stanów GHZ?
- d. Jakie są perspektywy na eksperymentalne wykorzystanie uzyskanych wyników teoretycznych?
- e. Jaki jest status eprintu?

4. Wnioski i opinia końcowa

Mimo przedstawionej krytyki moja opinia o pracy pozostaje pozytywna. Przedłożona mi do recenzji dysertacja doktorska spełnia ustawowe kryteria (art. 187, Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, Dz.U.2022.0.574) tj.:

- stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, jakim jest rozwój metod charakteryzowania układów kwantowych z wykorzystaniem nieklasycznych korelacji,
- wykazuje ogólną wiedzę teoretyczną doktoranta w dyscyplinie nauki fizyczne, zwłaszcza w zakresie teorii informacji kwantowej,
- potwierdza umiejętność doktoranta w zakresie samodzielnego prowadzenia pracy naukowej,
- do rozprawy jest dołączone streszczenie w języku polskim oraz angielskim.

Oceniając rozprawę jako odrębne jednoautorskie dzieło naukowe, mogą pojawić się pewne wątpliwości czy mgr Panwar potrafi samodzielnie prowadzić pracę naukową, na którą składa się również redakcja tekstów. Na korzyść autora wpływa to, że treść przekazana jest w sposób jasny i przemyślany, a znaczną większość problemów z tekstem można wykryć i poprawić w ramach pracy, której nie można nazwać naukową. Dlatego stwierdzam, że autor wykazuje gotowość autora do samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Do najważniejszych walorów recenzowanej pracy należy zaliczyć:

- ważności i aktualności podjętego tematu,
- solidna metodologia, dobór metod badawczych.

Stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska mgr. Ekty Panwar pt. „Characterizing quantum systems based on non-local correlations” spełnia wymogi stawiane rozprawom doktorskim w w/w ustawie I na tej podstawie wnioskuję do Rady Dyscypliny Nauki Fizyczne Uniwersytetu Gdańskiego o jej dopuszczenie do publicznej obrony.

Karol Bartkiewicz

Prof. UAM dr hab. Karol Bartkiewicz