

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

Gliwice, 13 maj 2022 r.

## Recenzja rozprawy doktorskiej mgr Mahaswety Pandit „Characterization of quantum correlations with strong non-classical properties”

### Uwagi wstępne

Forma drukowana recenzowanej rozprawy obejmuje 127 stron, praca jest napisana w języku angielskim i składa się z wprowadzenia, czterech rozdziałów oraz bibliografii. Tytuł pracy oddaje jej zawartość a przyjęty układ pracy jest właściwy. Zawartość kolejnych rozdziałów, stanowią wyniki wpisujące się w tematykę badania i charakteryzacji nieklasycznych korelacji i są ze sobą tematycznie związane. Treść rozdziałów jest zgodna z nadanymi im tytułami. Praca zawiera wyniki opublikowane wcześniej przez Autorkę w formie artykułów naukowych:

- [1] Waldemar Kłobus, Adam Burchardt, Adrian Kołodziejcki, Mahasweta Pandit, Tamás Vértesi, Karol Życzkowski, and Wiesław Laskowski, *k*-uniform mixed states, *Physical Review A* 100, 032112 (2019).
- [2] Waldemar Kłobus, Marek Miller, Mahasweta Pandit, Ray Ganardi, Łukasz Knips, Jan Dziewior, Jasmin Meinecke, Harald Weinfurter, Wiesław Laskowski, and Tomasz Paterek, Cooperation and dependencies in multipartite systems, *New Journal of Physics* 23, 063057 (2021).
- [3] Marcin Markiewicz, Mahasweta Pandit, and Wiesław Laskowski, Simultaneous estimation of multiple phases in generalised Mach–Zehnder interferometer, *Scientific Reports* 11, 15669 (2021).

W formie artykułu naukowego będącego w przygotowaniu:

- [4] Mahasweta Pandit, Artur Barasiński, István Márton, Tamás Vértesi, and Wiesław Laskowski, Optimal tests of genuine multipartite nonlocality, in preparation.

## Przedmiot rozprawy

Po wprowadzeniu, w rozdziale pierwszym Autorka rozważa  $N$ -cząstkowe stany  $k$ -jednorodne, czyli takie których redukcja do dowolnych  $k$  układów daje stany maksymalnie mieszane. Zaprezentowana została metoda konstrukcji stanów  $k$ -jednorodnych o maksymalnej czystości. Metoda wykorzystuje generatory skonstruowane przy pomocy macierzy Pauliego, lub z macierzy Weyla-Hesienberga. Przeprowadzono badania numeryczne, które potwierdziły, że w przypadku do 6 kubitów, zaprezentowana metoda znajduje stany  $k$ -jednorodne o największej czystości. Następnie Doktorantka przedstawia nową konstrukcję mieszanych stanów  $k$ -jednorodnych z wykorzystaniem tablic ortogonalnych.

W rozdziale drugim Doktorantka wprowadza  $N$ -współzależność, narzędzie do charakteryzacji stanów kwantowych oraz klasycznych, łącznych rozkładów prawdopodobieństwa.  $N$ -współzależność określa minimalny zysk informacyjny jaki strony są w stanie uzyskać dzięki kooperacji. Wartość wprowadzonej wielkości została analitycznie wyznaczona dla stanów GHZ oraz stanów Dickego. Autorka następnie przedstawia ogólne własności wprowadzonej wielkości, takie jak: zachowanie w przypadku klasycznych rozkładów, ograniczenia w przypadku stanów czystych i mieszanych, oraz identyfikuje stany o maksymalizujące wskazaną wielkość. W kolejnym kroku Doktorantka porównuje  $N$ -współzależność z innymi wskaźnikami zależności, a także wskazuje potencjalne zastosowania w scenariuszach operacyjnych, takich jak protokoły współdzielenia sekretu, kwantowa korekcja błędów, analiza splątania czy analiza danych klasycznych.

W rozdziale trzecim Autorka prezentuje metodę estymacji wielofazowej w układach złożonych wykorzystującą wielomodowe interferometry Macha-Zehndera. Wykazano możliwość uzyskania fundamentalnego limitu na precyzję pomiaru, oraz zaprezentowano metodę jednoczesnej estymacji  $d - 1$  faz w  $d$ -modowym układzie.

W rozdziale czwartym Doktorantka zaproponowała wykorzystanie programowania liniowego do badania prawdziwie nielokalnych wielocząstkowych korelacji. Jako wskaźnik nieklasyczności wykorzystane były dwie miary: siła nielokalności oraz prawdopodobieństwo łamania.

## Ocena końcowa i wnioski

Rozprawa doktorska mgr Mahaswety Pandit pt.: „*Characterization of quantum correlations with strong non-classical properties*” dotyczy ważnego zarówno poznawczo jak i aplikacyjnie problemu oraz stanowi wartościowe osiągnięcie naukowe Autorki. Uzyskane wyniki można rozpatrywać z punktu widzenia potencjalnych zastosowań w innych gałęziach teorii informacji kwantowej, takich jak protokoły współdzielenia sekretu, kwantowa korekcja błędów, analiza splątania czy analiza danych klasycznych.

Doktorantka do rozwiązania postawionych problemów użyła właściwych metod. Oryginalnymi osiągnięciami badawczymi Autorki są:

- metoda konstrukcji stanów  $k$ -jednorodnych o maksymalnej czystości,
- konstrukcja mieszanych stanów  $k$ -jednorodnych z wykorzystaniem tablic ortogonalnych,
- wprowadzenie oraz analiza własności dla  $N$ -współzależności – narzędzia do charakteryzacji stanów kwantowych oraz klasycznych łącznych rozkładów prawdopodobieństwa,
- metoda estymacji wielofazowej w układach złożonych wykorzystującą wielomodowe interferometri Macha-Zehndera.

Jest to wkład mgr Mahaswety Pandit w rozwój dyscypliny naukowej – nauki fizyczne. Rozległość przeprowadzonej analizy uzasadniają stwierdzenie, że Autorka posiada wiedzę teoretyczną, zdolności koncepcyjne oraz umiejętności do rozwiązywania naukowych problemów badawczych.

**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

Główna część rozprawy napisana jest dość starannie, jednakże pojawiają się niedociągnięcia, takie jak np. błędy składu (np. ostatnia formuła na stronie 18). Natomiast spis literatury został przygotowany niestarannie. Brak jest spójności,

część nazw czasopism występuje w formie skróconej a część posiada nazwy pełne, przykładowo dwie referencje następujące po sobie [230] oraz [231] zawierają różne wersje nazwy tego samego czasopisma. Część publikacji ma przypisany miesiąc wydania oraz pojawiają się błędy kodowania czcionek (np. w [223]). Przy pozycji [57] wymienione są wyłącznie nazwiska autorów, wiem że książka Convex Optimization jest bardzo znana, lecz dla spójności, tytuł oraz inne informacje bibliograficzne powinny być zamieszczone. Zagadkowa jest pozycja [131], przy której niezamieszczone są ani nazwiska autorów, ani tytuł, a właściwie niema żadnych informacji umożliwiających zidentyfikowanie artykułu.

dr hab. Zbigniew Puchała