

dr hab. inż. Łukasz Paweła  
Instytut Informatyki  
Teoretycznej i Stosowanej PAN  
ul. Bałtycka 5, 44-100 Gliwice

Gliwice, 8 września 2024 r.

# Recenzja rozprawy doktorskiej mgra Paulo José Cavalcanti de Vasconcelos Filho „Common-cause structure of non-signalling phenomena in generalised theories”

## Uwagi wstępne

Forma drukowana recenzowanej rozprawy obejmuje 139 stron. Praca składa się ze wstępu oraz 3 artykułów naukowych opublikowanych w czasopismach: npj Quantum Information, Journal of Physics A oraz Physical Review A. Praca jest napisana w języku angielskim i zawiera:

- wykaz artykułów naukowych, na podstawie których rozprawa została przygotowana,
- 4 rozdziały stanowiące wprowadzenie do zbioru publikacji składające się z
  - krótkiego wprowadzenia do problemu badawczego,
  - wstępu z głównymi koncepcjami matematycznymi,
  - podsumowania wyników w każdej z publikacji,
  - umieszczenia tych wyników w szerszej perspektywie badawczej,
  - wykazu literatury.
- Kopie artykułów naukowych stanowiący zbiór opublikowanych i powiązanych tematycznie artykułów naukowych.

Tytuł pracy oddaje jej zawartość, a przyjęty układ pracy jest właściwy. Praca zawiera badania dwóch istotnych koncepcji z zakresu badań nad informacją kwantową: kanały niesygnalizujące oraz nielokalność, z perspektywy uogólnionej teorii prawdopodobieństwa. W ten sposób zakres pytań dotyczących różnic między teorią kwantową a klasyczną rozszerza się na szeroką gamę struktur matematycznych interpretowanych jako teorie, w tym na przykład Boxworld, GPT o kluczowym znaczeniu dla trzech prezentowanych artykułów.

Pierwszy rozdział pracy nakreśla tło prowadzonych badań. W drugim rozdziale Autor wprowadza kluczowe pojęcia matematyczne wykorzystywane w dalszej części rozprawy: omówienie koncepcji niesygnalizowania i nielokalności, wstęp do teorii kategorii oraz wstęp do uogólnionych teorii prawdopodobieństwa. W trzecim rozdziale zaprezentowane krótkie omówienie wyników uzyskanych w publikacjach. W czwartym rozdziale Autor umieszcza wyniki uzyskane w publikacjach w szerszej perspektywie badawczej. Co więcej, do dysertacji zostały załączone oświadczenia współautorów o wkładzie w poszczególne publikacje.

Praca zawiera wyniki opublikowane wcześniej przez Autora oraz współautorów w formie artykułów naukowych:

- [1] Cavalcanti, P. J., Selby, J. H., Sikora, J., Galley, T. D., Sainz, A. B. (2022). Post-quantum steering is a stronger-than-quantum resource for information processing. *npj Quantum Information*, 8(1), 76.
- [2] Cavalcanti, P. J., Selby, J. H., Sikora, J., Sainz, A. B. (2022). Decomposing all multipartite non-signalling channels via quasiprobabilistic mixtures of local channels in generalised probabilistic theories. *Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical*, 55(40), 404001.
- [3] Cavalcanti, P. J., Selby, J. H., Sainz, A. B. (2024). Every nonsignaling channel is common-cause realizable. *Physical Review A*, 109(4), 042211.

## Przedmiot rozprawy

Pierwszy artykuł [1] analizuje sterowanie EPR w kontekście operacyjnych teorii kompozycyjnych. Autorzy definiują nową GPT, nazwaną Witworld, i używają jej do badania postkwantowego sterowania. Wykazali, że Witworld umożliwia realizację postkwantowego sterowania, w tym dla wcześniej zdefiniowanych zespołów postkwantowych. Kluczową cechą Witworld jest zastosowanie maksymalnego iloczynu tensorowego, co pozwala na realizację asemblaży Glesona, w tym niektórych postkwantowych.

Autorzy dowodzą, że w Witworld zestawy operacji pozytywnych i całkowicie pozytywnych są tożsame, co daje dostęp do dodatkowych operacji niedozwolonych

w teorii kwantowej. Te operacje umożliwiają przygotowanie zespołów przekraczających możliwości teorii kwantowej.

Na koniec autorzy badają właściwości obliczeniowe postkwantowego sterowania, pokazując, że w Witworld możliwe jest osiągnięcie deterministycznego sukcesu z użyciem 1 bitu klasycznej komunikacji, co przewyższa optymalną strategię kwantową, która wymaga 2 bitów.

Drugi artykuł [2] uogólnił na wielocząstkowe odwzorowania lokalnie tomograficznych GPT fakt, który wcześniej był znany dla wielocząstkowych stochastycznych odwzorowań klasycznych oraz dwucząstkowych odwzorowań kwantowych. Mianowicie, wszelkie kanały niesygnalizujące w tej klasie można matematycznie wyrazić jako afiniczne kombinacje kanałów produktowych.

Dowód opiera się na opracowaniu schematu przeniesienia wyniku klasycznych odwzorowań stochastycznych na bardziej ogólne GPT. W tym celu zastosowano dodatkowe oznaczenia z ram duotensorowych w celu zwiększenia przejrzystości. Dodatkowo wprowadzono prostszą notację. Ta notacja, wraz z pomocniczym twierdzeniem, stwierdzającym że otoczka afiniczna zbioru "measure-and-prepare" oraz zbioru transformacji zachowujących odrzucenie jest tożsama, pozwoliła na przeniesienie klasycznego wyniku na bardziej ogólne GPT w czytelny sposób.

Trzeci artykuł [3] rozszerza problem z pierwszego artykułu, badając ogólne kanały niesygnalizujące. Autorzy pytają, czy istnieje GPT, które może realizować wszystkie postkwantowe asemblaże.

Opierając się na twierdzeniu z drugiego artykułu, definiują mapę, która przypisuje lokalnie tomograficzne GPT do docelowej GPT, umożliwiając realizację kanałów bezsygnałowych w docelowej GPT posiadającą wspólną przyczynowość.

Wynik ten łączy ograniczenia dotyczące dekompozycji w formę wspólnej przyczynowości i niemożliwości sygnalizowania, co ma znaczenie dla teorii zasobów. Artykuł wprowadza również nowy sposób definiowania GPT, koncentrując się na aspektach kompozycyjnych, a nie geometrycznych.

Prezentowane wyniki na pewno stanowią nowatorskie i świeże spojrzenie na kwestię nielokalności w kwantowej teorii informacji. Dodatkowo wydają się prezentować bardzo szerokie kompetencje matematyczne autora oraz zdolność do analizy złożonych koncepcyjnie problemów. Wreszcie, zaprezentowane prace prezentują bardzo dobry rygor wypowiedzi w złożonych matematycznie kwestiach. Wszystkie te elementy

Głównym mankamentem całej rozprawy jest trudność w ocenie wkładu Doktoranta w poszczególne artykuły. W podsumowaniu Autor nie uwypuklił, które z wyników stanowią jego autorski wkład, a które są dziełem współautorów. Co więcej, oświadczenie współautorów również nie naświetlają tej kwestii. Wynika z nich, że Autor miał wkład w przygotowanie formalnego zapisu problemów oraz dowodów przedstawionych w prezentowanych artykułach, jednak ciężko jest stwierdzić

na podstawie przedstawionej dokumentacji, który z dowodów został całkowicie przeprowadzony przez Autora. W trakcie publicznej obrony mile byłoby widziane omówienie autorskiego wkładu mgra Cavalcantiego w poszczególne artykuły.

## Uwagi techniczne niewypływające na część merytoryczną

W przedstawionej pracy pojawiają się miejsca, gdzie można znaleźć niedociągnięcia formalne, przykładowo:

- Wstęp do zbioru artykułów zyskałby na trochę dłuższym, bardziej szczegółowym i popartym większą liczbą przykładów wstępie do teorii kategorii.
- W trzecim załączonym artykule pominięto stronę tytułową.
- Trzeci załączony to wersja arXiv zamiast ostatecznie opublikowanej wersji.

Kwestia artykułu numer 3 nie byłaby problematyczna w przypadku tradycyjnej rozprawy doktorskiej, jednak prezentowana dysertacja powinna stanowić zbiór opublikowanych artykułów (Art 187.3, Dz. U. 2018 poz. 1668, Ustawa z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce). Szybkie sprawdzenie pokazuje, że artykuł został zaakceptowany do publikacji 8 marca 2024, a opublikowany został 17 kwietnia 2024. Po długim zastanowieniu postanowiłem wziąć ten artykuł pod uwagę przy ocenie dorobku Doktoranta, ale na przyszłość zalecałbym większą staranność w przygotowaniu tak zwanej „spinki”.

## Ocena końcowa i wnioski

Rozprawa doktorska mgra Paulo Cavalcantiego pt.: „*Common-cause structure of non-signalling phenomena in generalised theories*” dotyczy ważnego zarówno poznawczo, jak i w zastosowaniu w dalszych badaniach problemu oraz stanowi wartościowe osiągnięcie naukowe Autora.

Dysertacja stanowi istotny wkład mgra Paulo Cavalcantiego w rozwój dyscypliny naukowej – nauki fizyczne. Przeprowadzone przez Autora analizy pokazują, że mgr Paulo Cavalcanti posiada rozległą wiedzę teoretyczną i solidne opanowanie bardzo złożonych pojęć matematycznych. Cała dysertacja pokazuje, że Autor potrafi przeprowadzić dowody twierdzeń matematycznych zachowując odpowiedni rygor.

**Pomimo uwag podniesionych w tej recenzji uważam, że przedstawiona rozprawa spełnia wymogi ustawowe stawiane pracom doktorskim w**

dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych w dyscyplinie nauki fizyczne.  
Wnoszę o przyjęcie jej przez Radę Dyscypliny Nauki fizyczne Uniwersytetu Gdańskiego oraz o dopuszczenie do publicznej obrony.

dr hab. inż. Łukasz Paweł