

dr hab. Paweł Caban, prof. UŁ
Katedra Fizyki Teoretycznej
Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej
Uniwersytet Łódzki

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr. Viniciusa Pretti Rossi
pt. *Mathematical tools for characterising contextual quantum advantage*.

Rozprawa doktorska pana mgr. Viniciusa Pretti Rossi oparta jest o wyniki przedstawione w następujących pracach:

- [1] V. P. Rossi, M. J. Hoban, A. B. Sainz, “On characterising assemblages in Einstein–Podolsky–Rosen assemblages”, *J. Phys. A: Mat. Theor.* 55, 264002 (2022);
- [2] J. H. Selby, E. Wolfe, D. Schmid, A. B. Sainz, V. P. Rossi, “Linear Program for Testing Nonclassicality and an Open-Source Implementation”, *Phys. Rev. Lett.* 132, 050202 (2024);
- [3] V. P. Rossi, D. Schmid, J. H. Selby, A. B. Sainz, “Contextuality with vanishing coherence and maximal robustness to dephasing”, *Phys. Rev. A* 108, 032213 (2023);
- [4] P. J. Cavalcanti, V. P. Rossi, J. H. Selby, A. B. Sainz, “SimplexEmbeddingGPT: Simplex Embedding for Generalised Probabilistic Theory (GPT) Fragments”, GitHub Repository, <https://github.com/pjcavalcanti/SimplexEmbeddingGPT> (2023);
- [5] A. M. Fonseca, V. P. Rossi, R. D. Baldijão, J. H. Selby, A. B. Sainz, “Robustness of contextuality under different types of noise as quantifiers for parity-oblivious multiplexing tasks”, arXiv:2406.12773v1 [quant-ph] (2024);

których mgr Rossi jest współautorem. Ponadto p. Rossi jest współautorem dwóch innych prac nie wchodzących w skład rozprawy. Jest to dość znaczny dorobek jak na osobę składającą pracę doktorską.

Przedstawiona do recenzji rozprawa składa się z czterech rozdziałów oraz prac [1,2,3,5]. Pierwszy rozdział to krótkie wprowadzenie, drugi to rozdział wstępny, w którym omówione zostało pojęcie uogólnionej kontekstualności oraz jego zastosowanie w przypadku ogólnych teorii probabilistycznych. W rozdziale trzecim Autor opisuje zawartość prac [1–5]. W rozdziale czwartym zarysowana została perspektywa dalszych badań.

Głównym tematem pracy doktorskiej p. Rossi są różne sposoby charakteryzacji pojęcia uogólnionej kontekstualności wprowadzonego przez R. Spekkensa [R. W. Spekkens, “Contextuality for preparations, transformations, and unsharp measurements”, *Phys. Rev. A*, 71, 052108, (2005)].

Nieco z boku tej tematyki znajduje się praca [1], w której autorzy analizują sterowanie EPR. Podstawowym obiektem rozważanym w tej pracy są zbiory nieznormalizowanych stanów wybranego podukładu otrzymane w wyniku przeprowadzenia pomiaru z wyborem na pozostałych częściach całego układu. Zbiory te w pracy nazywane są "EPR assemblages" (ansamble ansambli stanów); trudno mi znaleźć polski odpowiednik tego terminu dlatego pozostanę przy określeniu "zbiory stanów". Nota bene szkoda, że doktorant omawiając pracę [1] nie powiązał w ogóle zbiorów stanów EPR (EPR assemblages) z częściej używaną w literaturze terminologią "sterowanie EPR". Autorzy pracy [1] rozważają różne rodzaje zbiorów stanów: posiadające realizację kwantową; spełniające warunek braku sygnałowania i tak zwane prawie kwantowe oraz proponują sposoby ich charakteryzacji. W opisie tej pracy najsłabszy moim zdaniem jest podrozdział poświęcony makroskopowej niekontekstualności. Doktorant mógł tutaj szerzej wyjaśnić definicję tego pojęcia oraz motywację takiej właśnie definicji.

Głównemu tematowi rozprawy poświęcone są prace [2–5]. Najważniejsza w tym cyklu jest praca [2] (oraz związany z nią algorytm [4]), której rezultaty są podstawą następnych prac [3] i [5]. W pracy [2] podano konstrukcję algorytmu, który odpowiada na pytanie czy statystyka generowana przez zadany zbiór stanów kwantowych i POVM może być wyjaśniony za pomocą niekontekstualnego modelu ontologicznego. Jeżeli taki model istnieje to jest on jawnie konstruowany. Jeżeli z kolei model nie istnieje to wyznaczana jest wielkość, którą można uznać za operacyjną miarę niekontekstualności – minimalną wielkość szumu, którą musimy dodać żeby możliwa była konstrukcja modelu niekontekstualnego. Rezultaty te są również uogólnione na grunt ogólnych teorii probabilistycznych. Implementacja tego algorytmu została umieszczona w repozytorium GitHub (pozycja [4]).

Praca [3] jest bezpośrednim zastosowaniem algorytmu skonstruowanego w [2]. W [3] badany jest związek kontekstualności z koherencją oraz odporność uogólnionej kontekstualności na szum defazujący. Koherencja może być uważana za inny niż kontekstualność wyznacznik nieklasyczości. Wiadomo, że kontekstualność nie może istnieć bez koherencji (co jest formalnie dowiedzione w dodatku B pracy [3]) ale interesującym jest pytanie jak silna musi być koherencja aby pozwalała na kontekstualność. Praca [3] udziela odpowiedzi na to pytanie – podano tam przykłady kontekstualnych schematów, w których koherencja jest dowolnie mała. Skonstruowano również przykłady takich schematów, w których kontekstualność jest odporna na dowolną ilość szumu defazującego czyli w zasadzie na dowolnie silną dekoherencję (oczywiście poza zupełną dekoherencją). Głównym narzędziem wykorzystywanym w [3] jest zmodyfikowany algorytm [4].

Kontynuacją [3] jest praca [5], w której badana jest odporność kontekstualności na różne rodzaje szumu i jej związek z prawdopodobieństwem sukcesu w protokole kwantowej teorii informacji zwanym "parity-oblivious multiplexing". Analitycznie znaleziony został związek pomiędzy odpornością kontekstualności na szum depolaryzujący

a prawdopodobieństwem sukcesu w protokole "parity-oblivious multiplexing". Z wykorzystaniem zmodyfikowanego programu [4] rozszerzono również tę analizę na ogólne teorie probabilistyczne.

Prace [1–3] wchodzące w skład rozprawy doktorskiej zostały opublikowane w bardzo dobrych czasopismach: Journal of Physics A, Physical Review Letters oraz Physical Review A. Praca [5] jest preprintem opublikowanym w repozytorium arXiv. Moim zdaniem uzyskane w tych pracach wyniki są interesujące, wydaje mi się, że największą wartość mają wprowadzone metody analizy kontekstualności; znajduje to zresztą odbicie w tytule rozprawy. Wszystkie powyższe prace są pracami wieloautorskimi, powstały w bardzo dobrym zespole zajmującym się tą tematyką od wielu lat. W związku z tym największy problem stanowi określenie wkładu doktoranta w otrzymane wyniki. Załączone oświadczenie doktoranta dość dokładnie określa jego wkład w każdą z wymienionych wyżej prac. Wynika z niego, że największy jest wkład p. Rossi w pracach [1], [3] i [5]. Z oświadczenia wynika również, że doktorant jest autorem korespondencyjnym prac [1], [3] oraz [5]. Wkład w [2] jest zapewne nieco mniejszy (p. Rossi nie jest autorem pierwszej wersji [2] opublikowanej w repozytorium arXiv jako preprint 2204.11905v1). Moim zdaniem jednak wkład p. Rossi w całość rozprawy jest wystarczający.

Szkoda, że doktorant nie wykorzystał w pełni możliwości jakie stwarzało mu przygotowanie podsumowania rezultatów otrzymanych w pracach [1–5]. Podsumowanie to jest bardzo zwięzłe i w wielu miejscach pozostawia niedosyt. Dotyczy to choćby wspomnianych już wcześniej związków zbiorów stanów EPR ze sterowaniem czy makroskopo-
wej niekontekstualności. Ale dodać tutaj można też na przykład nieco szersze omówienie podejścia grafowego (sekcja 3.2.3). Doceniam natomiast zarysowane w ostatnim rozdziale możliwości dalszych zastosowań rozwiniętych w rozprawie metod.

Konkludując, stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr. Viniciusa Pretti Rossi spełnia ustawowe i zwyczajowe wymogi stawiane pracom doktorskim i wnoszę o dopuszczenie pana mgr. Viniciusa Pretti Rossi do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

