



Center for Theoretical Physics

Polish Academy of Sciences

Aleja Lotników 32/46, 02-668 Warsaw

Tel. (+48 22) 847 09 20, Fax/Tel: (+48 22) 843 13 69

E-mail: cft@cft.edu.pl, NIP: 525-000-92-81, REGON: 000844815

Konkluzja recenzji rozprawy doktorskiej
(Conclusion of dissertation review)

„Certification of quantum states and measurements in contextuality scenarios”

Tytuł rozprawy (Dissertation title):

Rafael Freitas dos Santos

Autor rozprawy (Author of the dissertation):

Pozytywna ocena (Positive conclusion):



Stwierdzam, że przedstawiona mi do recenzji rozprawa spełnia wszystkie wymagania ustawowe i zwyczajowe stawiane rozprawom doktorskim i wnoszę o dopuszczenie jej do dalszych etapów postępowania doktorskiego, uwzględniając publiczną obronę.

(I conclude that the presented dissertation meets the formal and customary requirements for doctoral dissertations and I recommend its admission to subsequent stages of the procedure, including the public defense.)*



Ocena negatywna (negative conclusion)

Stwierdzam, że przedstawiona mi do recenzji rozprawa nie spełnia wszystkich wymagań ustawowych i zwyczajowych stawianych rozprawom doktorskim i dlatego nie rekomenduję dopuszczenia jej do dalszych etapów postępowania doktorskiego.

(I conclude that the presented dissertation does not meet the formal and customary requirements for doctoral dissertations and therefore I do not recommend its admission to subsequent stages of the doctoral procedure.)*

Uzasadnienie powyższej oceny znajduje się w raporcie będącym załącznikiem 1.

(The justification of the above assessment can be found in the detailed report in the attachment 1.)

.....
Data i podpis
(Date and signature)

Załącznik 1: Recenzja rozprawy doktorskiej

(Attachment 1: Review of the dissertation)

*Zaznacz ocenę (Please tick the box with your conclusion)

Gdańsk, 4.12.2023

Prof. dr hab. Marcin Wieśniak

Instytut Fizyki Teoretycznej i Astrofizyki

Wydział Matematyki, Fizyki i Informatyki

Uniwersytet Gdański

Recenzja Rozprawy doktorskiej "Certification of states measurements in contextuality scenarios" mgr. Rafaela Freitas dos Santos.

Otrzymana przeze mnie praca doktorska ma postać monotematycznej serii trzech artykułów współautorstwa doktoranta, wydanych w bardzo dobrych czasopismach, wraz z komentarzami. Na 115 stron pracy naliczyłem 12 stron o charakterze czysto technicznym, 10 stron pustych, 38 stron niezbędnych wyjaśnień (z czego około 7 wypełnionych tekstem najwyżej do połowy) oraz 55 stron przedrukowanych z artykułów.

Dlaczego podaję te wyliczenia? Odnoszę wrażenie, że forma serii artykułów, czy monografii wprowadzona była głównie z myślą o naukach humanistycznych, gdzie przepisywanie obszernych tekstów nie ma większego sensu. W naukach ścisłych i przyrodniczych doktorant decydując się na serię artykułów poniekąd rezygnuje z szansy doboru przedstawionego materiału i, co ważniejsze, przedstawienia swojego rozumienia danego zagadnienia. Recenzent natomiast stoi przed trudnym zadaniem oceny doktoranta na podstawie dużo skromniejszego materiału źródłowego. W fizyce inne są zwyczajowe wymagania co do treści artykułów, a inne co do doktoratów, które są w pewnym zakresie tekstami dydaktycznymi. Przy artykule swoją pracę wykonali już recenzenci, korektorzy oraz współautorzy.

Praca dotyczy problemu certyfikacji różnych scenariuszy kwantowych, tj. analitycznych dowodów, że do konkretnego wyniku doświadczenia prowadzi efektywnie tylko jedna realizacja, z dokładnością do pewnych izometrii. Jest to tak zwane samotestowanie, wprowadzone przez Mayersa i Yao. Dalsze prace, głównie Kaniewskiego i Supica doprowadziły do istotnych generalizacji tego pojęcia, np. przez prezentację dowodów niezależnych od urządzeń, że dany stan jest izometryczny z wzorcem. Takie dowody mają szczególne znaczenie w scenariuszach typu Bella. Z własności monogamii korelacji typu Bella wiemy, że każda próba manipulacji stanem służącym do kwantowej generacji klucza kryptograficznego musi prowadzić do zmniejszenia wartości średniej operatora Bellowskiego (Ekert 1991). Maksymalna wartość średnia operatora CHSH świadczy o tym, że użytkownicy protokołu dzielą między siebie stan maksymalnie splątany, a dysponują oni poprawnymi obserwablami lokalnymi. W realnych sytuacjach oczywiście nie osiągniemy wartości maksymalnej, stąd też konieczność rozważania samotestowania odpornego na niedoskonałości doświadczalne. Dowody te szacują wielkość odstępstwa od wzorca w zależności od obserwowanego deficytu łamania nierówności Bella.

Jasne jest uogólnienie samotestowania scenariuszy Bellowskich na scenariusze wielocząstkowe. Doktorant, wraz ze swoimi współpracownikami, w dwóch z trzech publikacji wybrał inne uogólnienie, tj. na scenariusze badające niekontekstualność. Oczekuję tutaj od doktoranta pewnego uzupełnienia, którego nie doszukałem się we wstępie. Mianowicie, o ile dla scenariuszy typu Bella samotestowanie ma uzasadnienie w kontekście kryptografii kwantowej, o tyle w testach niekontekstualności nie mamy naturalnej separacji na podukłady. Jest to przede wszystkim cecha samego formalizmu. Wątek ten wydaje się wymagać wyjaśnienia.

Przejdźmy jednak do oceny wartości merytorycznej pracy doktorskiej. Pierwszy rozdział stanowi krótkie wprowadzenie teoretyczne. Na 24.5 strony Doktorant wprowadza pojęcia takie, jak klasyczność rozkładu prawdopodobieństwa, kompatybilność pomiarów, kontekstualność, nielokalność w sensie Bella, stany grafowe, czy w końcu samotestowanie. Technicznie i merytorycznie wstęp ten jest napisany zazwyczaj bardzo poprawnie. Co do warstwy merytorycznej, żałuję, że temat historycznej dyskusji na temat zmiennych ukrytych nie został omówiony szerzej. Warto w tym kontekście wspomnieć, na przykład, o Bohmowskiej interpretacji mechaniki kwantowej opartej na nielokalnych zmiennych ukrytych. W sekcji 1.3.1 wydaje mi się, że opis nierówności KCBS jest zbyt skrótowy, by zrozumieć rysunek 1.2, brakuje omówienia geometrycznej interpretacji obserwacji. W sekcji tej jest bodaj napoważniejszy błąd pisarski, to jest pomyłka w wartości kąta we wzorze (1.26). Poprawna wartość to $\pi/5$ co potwierdza równanie (12) w artykule 1. Osobiście nie do końca rozumiem opis oparty na α , bez podawania po prostu wartości składowych "z" wektorów opisujących pomiary. Użycie tej wielkości nie pomaga przejrzystości opisu, a nabiera ona sensu dopiero w artykule 1. W końcu warto podkreślić, że kwadrat Peresa-Merminia ma sens, jeśli rozważamy jeden czterowymiarowy układ, a nie dwa oddzielne kubity. Jest to jednak bardzo subtelna różnica. Technicznie rozdział 1 jest bardzo dobrze napisany, opisuje odpowiedni zakres materiału. Nie rzuciły mi się w oczy błędy ortograficzne, a jedynie kilka błędów interpunkcyjnych. Pewną wadą jest jednak styl tekstu, oparty na zdaniach wielokrotnie złożonych. Czytelnik musi każdorazowo je analizować, by wydobyć potrzebną informację. Artykuły źródłowe są wolne od tego nawyku.

Dowody samotestowania często opierają się na rozkładzie operatora osiągającego maksymalną wartość odjętego od pewnego operatora stałego ma sumę kwadratów operatorów o niezerowym jądrze. Dla operatora KCBS taki rozkład jest nieznany. Autorzy artykułu 1, opublikowanego w Quantum, modyfikują jednak operator KCBS przez dodanie do niego jednorodnej kombinacji wszystkich użytych obserwacji. Jest to bardzo elegancki i ciekawy wynik, gdyż jak wskazywał Cabello, nierówność KCBS jest fundamentalna dla innych dowodów twierdzenia Kochena-Speckera zależnych od stanu. Jest to również bardzo elegancka procedura matematyczna. Wykorzystując tę sztuczkę, Autorom udaje się znaleźć zbiór operatorów stabilizujących stan i rozkład na sumę kwadratów. Czuję jednak pewien niedosyt w związku z brakiem pogłębionej dyskusji odporności na szum. W szczególności, że Autorzy uogólniają swoją metodę na nierówności n-cykliczne. Dyskusja szumu pozwoliłaby na odpowiedź, czy jest sens rozważać granicę dużego n. Spodziewam się, że łamanie w takiej granicy jest bardzo wrażliwe na niedoskonałości, zwłaszcza wobec dodatkowego członu. Niestety, ze względu na dalsze trudności dowód nie obejmuje weryfikacji wymiaru układu.

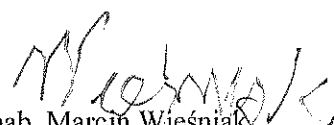
W artykule 2 z Physical Review A doktorant wraz ze współpracownikami pokazuje dowód samotestowania stanów grafowych maksymalizujących wyrażenia oparte na kombinacji ich stabilizatorów. Ta praca wzbudza moje największe zaciekawienie. Autorzy podkreślają, że badają nierówność niekontekstualną, a nie Bella. Na potrzeby dowodu zakładają jednak określony graf współmierzalności. Zastanawiam się więc dlaczego nie jest to schemat typu Bella, w którym niekontekstualność pomiarów oraz relacje komutacyjne są zagwarantowane przez rozdzielenie przestrzenne. Znacząco uprościłoby to dowód samotestowania, a nie ma tu różnic matematycznych.

Warto natomiast zauważyć, że dowód ten zawiera analizę odporności na szum.

Interesuje mnie tu kwestia, czy zaprezentowana metoda może służyć do generowania dowodów samotestowania scenariuszy, w którym jest kilka stanów dających maksymalną wartość operatora. Stabilizatory omawiane w pracy można zastąpić stabilizatorami generującymi kody odporne na błędy Kitajewa.

Trzecia praca ujęta w ramach rozprawy ukazała się bardzo dobrym czasopiśmie New Journal of Physics. Dotyczy ona problemu samotestowania scenariuszów Bellowskich dla wszystkich stanów grafowych. Jest to bardzo duża klasa stanów o szerokim zastosowaniu w teorii informacji kwantowej. Wspomniałem na przykład o kodach odpornych na błędy. Tym razem Autorzy formułują nowe nierówności Bella oparte na stabilizatorach o lokalnych wymiarach będącymi liczbami pierwszymi. Ograniczenie to wynika faktu, że dla liczb złożonych, np. 6, nie znamy pełnego zestawu baz wzajemnie zbalansowanych (MUBs). Ciekawe, czy metodę taką można zastosować dla wymiarów podukładów będących potęgą liczby pierwszej. Dla liczb pierwszych większych niż 2 napotykamy jednak na trudność. Liniowe kombinacje operatorów Heisenberga-Weyla w ogólności nie dają operatorów o widmie złożonym z pierwiastków d -go stopnia z 1 (notabene, doktorant w swoich wyjaśnieniach nie używa nazwy "operatory Heisenberga-Weyla", mówi raczej o uogólnieniach macierzy Pauliego). Autorzy przywołują jednak nieco zaskakującą transformację pozwalającą w szczególnym przypadku zachować własności widma. Maksymalne łamanie nierówności Bella jest więc pokazane przez zerowanie operatorów związanych ze stabilizatorami. Następnie Autorzy prezentują dowód samotestowania dla wybranej nieruchomości Bella dla stanu grafowego czterech kutritów. Na podstawie stabilizatorów pokazują oni, że obserwowalne w dowolnym wymiarze muszą rozpadać się na trójwymiarowe bloki, każdy o strukturze Heisenberga-Weyla. Szkoda, że metoda ta działa tylko dla kutritów, jednak przedstawiony przykład wydaje się oddawać ogólną ideę dowodu. Ze względu na dużą ogólność wyniki zaprezentowane w pracy 3 uważam za bardzo ciekawe.

Podsumowując, przedstawiona seria trzech artykułów stanowi nowatorskie ujęcie problemu samotestowania niektórych scenariuszy kwantowomechanicznych, a oświadczenia doktoranta jednoznacznie wskazuje na jego aktywny i znaczący wkład w powstawanie tychże artykułów. Dlatego moim przyjemnym obowiązkiem jest wyrażenie pełnego przekonania, iż praca mgr Rafaela Freitas dos Santos spełnia wszystkie wymagania stawiane przez prace doktorskie.


prof. dr hab. Marcin Wieśniak