

Recenzja rozprawy doktorskiej: Ekta Panwar "Characterizing quantum systems based on non-classical correlations"

Dr hab. Adam Sawicki, prof. CFT PAN

1 Uwagi wstępne

Przedstawiona mi do recenzji rozprawa składa się z czterech rozdziałów: 1) Introduction, 2) Preliminaries, 3) Summary of Disertations and 4) Outlook. Praca oparta jest na trzech artykułach opublikowanych w czasopismach z listy filadelfijskiej. Na podstawie oświadczeń współautorów stwierdzam, że wkład kandydatki jest dominujący w dwóch z trzech artykułów (w artykułach [A] i [B]). Praca napisana jest w języku angielskim. Struktura pracy jest logicznie poprawna i uporządkowana, co ułatwia czytelnikowi śledzenie prezentowanych treści i zrozumienie przedstawionych argumentów. Tytuł pracy jest zgodny z jej zawartością. Całość jest napisana w sposób zrozumiały, niemniej jednak bez większej dbałości o poprawność gramatyczną i językową co utrudnia przyjemną lekturę. W części pracy, która ustawowo musi być w języku polskim wręcz roi się od błędów. Część napisana w języku angielskim również nie jest wolna od tego problemu (choć ze znacznie mniejszą intensywnością).

W rozdziale pierwszym autorka prezentuje rys historyczny oraz podaje motywacje badań, które są tematem jej rozprawy.

W rozdziale drugim autorka przedstawia krótkie wprowadzenie do teoretycznych i matematycznych podstaw niezbędnych do zrozumienia nieklasycznych korelacji w teorii kwantowej. W ten sposób niejako przygotowuje grunt pod bardziej szczegółową dyskusję w kolejnym rozdziale. Rozdział ten znacząco ułatwia lekturę pracy osobom niezajmującym się tematyką selftestingu (samotestowania), wprowadzając przede wszystkim słownik niezbędnych pojęć.

Najważniejszą część pracy stanowi rozdział trzeci (8 stron) w którym autorka opisuje główne rezultaty trzech artykułów, które opublikowała wraz ze swoimi współautorami.

2 Główne rezultaty rozprawy

Tematyka pracy dotyczy tzw. samotestowania kwantowego. Samotestowanie pozwala klasycznemu użytkownikowi wnioskować o mikroskopowym zachowaniu systemu kwantowego wyłącznie na podstawie obserwowanych makroskopowych statystyk eksperymentalnych. Technika ta jest podejściem mającym na celu rozwikłanie skomplikowanej struktury kwantowego zbioru korelacji. Co więcej, implikacje autotestowania wykraczają poza aspekt teoretyczny i znajdują tzw. zastosowanie w device-independent quantum information processing. Samotestowanie traktuje urządzenie kwantowe jako tzw. „czarną skrzynkę” i umożliwia klasycznemu użytkownikowi zrozumienie własności korelacyjnych bez kompleksowego zrozumienia

wewnętrznej struktury tegoż urządzenia. Siłą tej metody jest to, że działa nawet przy założeniu, że niektórzy mogą próbować oszukiwać (tzn. twierdzić, że urządzenie, które jest defacto klasyczne, jest kwantowe). Co więcej, samotestowanie okazało się przydatne w wielu obszarach informatyki kwantowej w szczególności w kwantowej dystrybucja klucza.

Samotestowanie jest dość dobrze zbadane w wypadku gdy układ składa się z dwóch podukładów. Przypadek wielociałowy jest natomiast bardziej skomplikowany i przez to mniej zbadany. Pierwszy artykuł [A] wprowadza prostą, ale mającą szerokie zastosowanie metodę samotestowania w kontekście wielocząstkowych nierówności Bella. Główną zaletą tego podejścia jest rezygnacja z tradycyjnego rozkładu na sumę kwadratów. Złożoność obliczeniowa rozkładu na sumę kwadratów dla odpowiednich operatorów Bella rośnie wraz z liczbą cząstek. Jak słusznie stwierdza autorka ta bariera złożoności stanowi istotną przeszkodę w stosowaniu tradycyjnych technik dowodowych w scenariuszu wielocząstkowym. Pierwszy artykuł wprowadza nie tylko nową metodologię w tym kierunku ale zawiera również prezentację działania tej metody dla N-cząstkowych rodzin nierówności Bella: Mermin-Ardehali-Belinskii-Klyshko (MABK) i Werner-Wolf-Weinfurter-Żukowski-Brukner (WWWŻB). Dodatkowo, artykuł rozszerza te rozważania o alternatywne dowody kwadratowych nierówności Bella według Uffik'a i zespolonych nierówności Bella.

Pytanie: W pracy brakuje mi konkretnego porównania złożoności obliczeniowej metody "suma-kwadratów" z wprowadzoną metodą. Czy można ilościowo opisać zysk z nowej metody?

Drugi artykuł [B] dotyczy stopnia eksperymentalnie osiągalnej nielokalności, którą można zmierzyć ilością naruszeń nierówności Bella typu loop-hole free. Praca jest próbą odpowiedzi na pytanie: Które strategie kwantowe osiągają maksymalną nielokalność (typu loop-hole free) w obecności nieefektywnych detektorów? Dla dowolnej nierówności Bella i dowolnej specyfikacji efektywności detekcji, optymalnymi strategiami są te, które maksymalnie naruszają tzw. wersję tilted nierówności Bella w warunkach idealnych. Główne rezultaty pracy [B] to pokazanie, że strategie kwantowe, które maksymalnie naruszają wersję tilted nierówności Clausera-Horne'a-Shimony'ego-Holta, są unikalne z dokładnością do lokalnych izometrii. Ponadto wykorzystując nową technikę dowodu opartą na problemie Jordana uzyskano solidne analityczne twierdzenia samo-testujące dla całej rodziny tzw. tilted nierówności Bella. Wyniki te pozwalają na pełniejszą analizę wpływu nieefektywnych detektorów w najprostszym scenariuszu Bella.

Artykuł trzeci [C] dotyczy tzw. mediated-interactions. Dokładniej wykorzystano nieklasyczność stanów do ilościowego określenia ilości nieklasyczności w tzw. mediated-interactions przy zachowaniu minimalistycznych założeń dotyczących rozważanych systemów fizycznych. Użyta koncepcja nieklasyczności opiera się na komutatywności hamiltonianów interakcji w zamkniętej dynamice, która rozszerza się również na systemy otwarte. Główny wkład polegał tu na opracowaniu metod kwantyfikacji nieklasyczności w wypadku gdy tzw mediator (układ pośredniczący) jest lub nie jest dostępny eksperymentalnie.

3 Ocena końcowa i wnioski

Rozprawa doktorska pt. "Characterizing quantum systems based on non-classical correlations" jest wkładem w rozwój informatyki kwantowej, zarówno z perspektywy teoretycznej, jak i praktycznej. Praca koncentruje się na szczegółowej analizie i charakteryzacji wielocząstkowego samotestowania. Dokładna charakterystyka i certyfikacja układów kwantowych jest konieczna

do praktycznego rozwoju kwantowej teorii informacji. W rozprawie przedstawiono nowatorskie modele teoretyczne do charakteryzacji korelacji nieklasycznych oraz certyfikacji wybranych układów kwantowych. W szczególności rozprawa dotyczy istotnego eksperymentalnego pytania: w jaki sposób możemy skutecznie przeprowadzać certyfikację kwantową w obecności niedoskonałości i szumów.

Warto podkreślić, że doktorantka wykazała się nie tylko dogłębną znajomością teoretycznych aspektów badanych zagadnień, ale także zdolnością do ich kreatywnego rozwinięcia i zastosowania w nowych kontekstach. Jej praca jest dowodem na wysoki poziom kompetencji badawczych, umiejętności analitycznych oraz zdolności do rozwiązywania złożonych problemów naukowych.

Uważam że przedstawiona rozprawa spełnia wymogi ustawowe stawiane pracom doktorskim w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych w dyscyplinie nauki fizyczne i wnoszę o dopuszczenie jej do dalszych etapów postępowania.