

Warszawa, 3 września 2024

Prof. dr hab. Andrzej Dragan
Instytut Fizyki Teoretycznej
Wydział Fizyki UW
Warszawa

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr Ekty Panwar „Characterizing quantum systems based on non-classical correlations”

Rozprawa doktorska mgr Ekty Panwar „Characterizing quantum systems based on non-classical correlations” liczy 119 stron, z czego pierwsze 60 zawiera zasadniczą część, a reszta to przedruk trzech oryginalnych artykułów, na bazie których rozprawa powstała. Pierwszy artykuł [A] opublikowany w NPJ Quantum Information ma trzech autorów, przy czym Ekta Panwar wymieniona jest na drugim miejscu, drugi artykuł [B] istnieje wyłącznie w formie nieopublikowanego preprintu, ma 7 autorów i Ekta Panwar jest również druga na liście autorów, a trzeci artykuł [C] opublikowano w PRX Quantum, liczy on 5 autorów i Ekta Panwar ponownie wymieniona jest na drugim miejscu.

Zasadnicza część rozprawy, czyli 60-cio stronicowe omówienie wyników uzyskanych w artykułach nie zawiera informacji, która część przedstawionych rezultatów została uzyskana samodzielnie przez panią mgr Ektę Panwar. Informacja ta jest zawarta w dodatkowych oświadczeniach współautorów prac i można na ich podstawie sądzić, że pani Panwar przyczyniła się w sposób istotny do uzyskania tych wyników, lecz nie była ich jedyną, a w przypadku co najmniej dwóch prac, nawet główną autorką. Warto natomiast docenić, że artykuły [A] i [C] zostały opublikowane w czasopismach o wysokim prestiżu.

Uzyskane wyniki to przede wszystkim poprawione metody charakteryzowania układów kwantowych na podstawie pomiarów ich korelacji. Wyniki te mają charakter mocno techniczny i wymagają specjalistycznej i szczegółowej wiedzy by w pełni docenić ich wszystkie walory. Z tego powodu szczególną wagę powinny odgrywać wstępne rozdziały rozprawy. Artykuł [A] zawiera propozycję nowego schematu do testowania nielokalnych korelacji w schematach uogólniających wielostronne nierówności Bella typu MABK oraz WWWŻB. Zaproponowane modyfikacje znanych schematów pozwalają na sprawniejsze dowodzenie nielokalności testowanych układów. Artykuł [B] zawiera analizę wpływu praktycznych ograniczeń eksperymentalnych na możliwość skutecznego testowania nielokalności układów kwantowych. W szczególności badany był wpływ nieidealnej sprawności kwantowej detektorów użytych do mierzenia różnych schematów łamiących uogólnione nierówności Bella na stopień obserwowanej nielokalności. Autorzy proponują tu nowatorski schemat szczególnie efektywny w praktycznych zastosowaniach. Schemat

ów, oparty jest na lemacie Jordana (także używanym w artykule [A]), pozwala na prostsze analityczne dowodzenie nielokalności i skuteczniejsze omijanie poszczególnych „luk” (ang. „loopholes”) zaszytych w rozważanych schematach. Wreszcie trzeci artykuł [C] bada zagadnienie nieklasyczności oddziaływań za pośrednictwem medium pośredniczącego. Owo techniczne zagadnienie jest mi szczególnie bliskie, zyskało ono bowiem ostatnio szczególnie na znaczeniu w obliczu nowych propozycji testowania kwantowości oddziaływań grawitacyjnych pomiędzy obiektami kwantowymi, znanych jako schemat BMV. Autorka (wraz ze współautorami artykułu) skupia się na sformułowaniu kryteriów nieklasyczności samych oddziaływań (a nie oddziałujących układów) badając ich niekomutatywność i „nierozkładalność” (ang. „nondecomposability”), robiąc to w prosty i elegancki sposób. Szczególnie ważne jest to, że formułowane kryteria nie zależą od szczegółowych i w zamyśle nieznanych cech badanych oddziaływań. Z tego powodu rozważane podejście może okazać się pożyteczne w badaniu schematów, takich jak wspomniany BMV, służących badaniu wciąż nieznanego natury (kwantowych?) oddziaływań grawitacyjnych.

Uzyskane wyniki mają bez wątpienia istotną wartość w specjalistycznej branży, którą zajmuje się pani mgr Panwar. Dlatego nie mam wątpliwości, że merytorycznie są one dobrą podstawą do pracy doktorskiej. Co do formalnej strony pracy, ma ona właściwą strukturę, napisana jest dość dobrym językiem i zawiera rozbudowaną bibliografię liczącą 135 artykułów. Rozdziały 1 i 4 zawierają wstęp i podsumowanie, rozdział 2 ma być wprowadzeniem do tematyki badawczej, zaś rozdział 3 zawiera zwięzłe podsumowanie najważniejszych wyników uzyskanych w pracach [A, B, C].

Chciałbym teraz omówić nieco mankamentów, które w rozprawie utkwily. W rozdziale wstępnym brak jest omówienia struktury pracy i dopiero w trakcie okazuje się, które z omawianych zagadnień są oryginalnymi wynikami, a gdzie mamy do czynienia z przeglądem znanych w literaturze faktów.

Jeśli chodzi o Rozdział 2 zawierający omówienie wstępnych zagadnień, uważam że w pisaniu go zabrakło refleksji, kto jest właściwie adresatem owego rozdziału. Jeśli są nim osoby zaznajomione z tematyką badawczą pracy, to rozdział ten jest niepotrzebny, jeśli zaś są to osoby „spoza branży”, to rozdział ten jest bardzo ważny, lecz okazuje się zdecydowanie niewystarczający. Dość powolny wstęp do postulatów mechaniki kwantowej poprzedza prowadzony w szaleńczym tempie przegląd zaawansowanych technik z badania nielokalności kwantowej. W mojej ocenie, jeśli odbiorcą ma być osoba rzeczywiście nie znająca postulatów mechaniki kwantowej, nie ma ona szans na skuteczne przebrnięcie przez dalszą część. Rozdział ten zawiera do tego liczne literówki, a także inne usterki, z których wymienię część:

-pomylenie funkcji falowej ze stanem kwantowym zadany przez „ket” (jaka jest funkcja falowa qubitu?) — na stronie 10.

- nieusunięty napis „[cite]” — na stronie 11.
- niekonsystentna notacja do opisu POVM (skład kaligraficzny lub jego brak) (na stronie 11) czy entanglement cost — na stronie 12.
- nowe wielkości pojawiające się w równaniach, które nie zostały w ogóle zdefiniowane: ρ_A , ρ_{AB} w równaniu (2.8) albo $\bar{R}_\alpha$ w równaniu (2.20).
- odniesienie do niewłaściwego równania (2.9) — na stronie 13.
- konflikt w notacji - symbol X oznaczający dwie różne wielkości — na stronie 13.
- brak opisu kluczowego założenia o niezależności procedury pomiarowej w konstrukcji nierówności Bella. Gdyby przyjąć opis pani mgr Panwar, w łamaniu nierówności Bella nie byłoby niczego nieklasycznego — na stronach 15 i 16.
- niewłaściwy znak nierówności w definicji operatorów M — strona 17.
- błędna definicja symbolu sprzężenia hermitowskiego — na stronie 35.

Dyskusyjna jest także teza na stronie 11, jakoby Postulat 3 mówił o tym, co dzieje się z układem kwantowym „po” pomiarze, a nie po prostu pozwalał na wyliczanie prawdopodobieństw możliwych do uzyskania klasycznych wyników pomiaru. Pytanie to jest być może szczególnie warte refleksji w przypadku omawianych w pracy fotonów, które w każdym możliwym pomiarze są całkowicie pochłaniane (zgodnie z regułami elektrodynamiki kwantowej), a zatem po pomiarze nie pozostaje nic „do opisu”. Podobna krytyka stosuje się również do częściowego pomiaru stanów splątanych.

Dość liczne usterki oraz, przede wszystkim, pośpiech w narracji (szczególnie od strony 17) powoduje, że Rozdział 2 może być w istocie dobrze zrozumiany jedynie przez osoby znające już omawianą tematykę badawczą, do których jednak ów rozdział nie jest skierowany. Na szczęście dość zwarty Rozdział 3 zawierający dobre podsumowanie głównych wyników z prac [A, B, C] jest dla osoby znającej poszczególne narzędzia dość czytelny.

Podsumowując, moje uwagi dotyczą głównie strony formalnej, zaś merytoryczną stronę wyników omówionych w pracy oceniam wysoko. Doceniam również uwagę poświęconą praktycznym aspektom eksperymentalnym w badaniach nad nielokalnością, które to aspekty odgrywają często decydującą rolę w przydatności (bądź jej braku) narzędzi teoretycznych. Warte uznania jest też bezpośrednie odniesienie Autorki do najnowszej tematyki badawczej dotyczącej badania kwantowości grawitacji, która wykracza przecież poza ortodoksyjne ramy dziedziny, którą zajmuje się mgr Ekta Panwar. Stwierdzam, że przedstawiona do oceny praca doktorska spełnia stawiane przez ustawę wymagania i wnoszę o dopuszczenie pracy do dalszych etapów przewodu doktorskiego, w szczególności do publicznej obrony.

