



Centrum Fizyki Teoretycznej Polskiej Akademii Nauk

Al. Lotników 32/46, 02-668 Warszawa
Tel. (+48 22) 847 09 20, Fax/Tel: (+48 22) 843 13 69
Email: cft@cft.edu.pl
NIP 525-000-92-81 REGON 000844815

Warszawa, 31.08.2022

Dr hab. Jarosław Korbicz
Centrum Fizyki Teoretycznej PAN
02-668 Warszawa

Recenzja pracy doktorskiej mgra Ray Ganardi

"Correlations in mediated dynamics"

Przedstawiona rozprawa doktorska mgra Ray Ganardi to 63-stronicowa praca pisemna. Tematyka pracy dotyczy matematycznych badań miar korelacji kwantowych oraz zastosowania tych badań do kwantowej dynamiki z układem pośredniczącym. Dynamika mediowana przez układ pośredniczący to ostatnio gorąco badany i wciąż otwarty temat w kontekście możliwej kwantowej natury oddziaływania grawitacyjnego. W rozprawie analizowane jest podstawowe zagadnienie jak odróżnić dynamikę generowaną przez oddziaływanie klasyczne, odpowiednio zdefiniowane, od nieklasycznego patrząc na korelacje. Z kolei rola korelacji kwantowych, w tym kwantowego splątania, to w ogólności szczególnie ważny temat we współczesnych badaniach i zastosowaniach mechaniki kwantowej. Jest to wręcz cecha odróżniająca współczesne podejście od tradycyjnego. Odkryta w ostatnim okresie struktura korelacji kwantowych okazała się być znacznie bogatsza niż korelacji klasycznych i powstała potrzeba usystematyzowania ich opisu i kwantyfikacji. Propozycja takiego systematycznego podejścia, bazująca na teorii zasobów, opisana jest w drugim rozdziale pracy. Równocześnie Doktorant przedstawia syntetyczny przegląd miar korelacji, używanych w literaturze. Stanowi to bardzo dobry wstęp do badań własnych Doktoranta i pokazuje jego szeroką wiedzę teoretyczną w tej dziedzinie.

Główne wyniki pracy

Wyniki badań przedstawione są w dwóch rozdziałach – trzecim i czwartym. Pierwszy z nich poświęcony jest konstrukcji miar korelacji opartych na częściowej transpozycji (PT) i związanej z nią popularnej mierze splątania, tzw. ujemności. Doktorant dokonuje ciekawej obserwacji, że ujemność może być związana z pewną nową miarą odległości między stanami (odległością PT). Definiuje tę miarę i przedstawia interesującą interpretację operacyjną jako ograniczenie na błąd rozróżnienia stanów PPT poprzez pomiary PPT. Następnie zgodnie z ogólną metodologią wprowadzoną wcześniej, używa wprowadzonej odległości PT do konstrukcji nowych geometrycznych miar korelacji kwantowych i bada ich własności, co stanowi oryginalny wkład do problemu kwantyfikacji korelacji. Najważniejszym wynikiem jest Twierdzenie 3.4, pokazujące zależność między miarą całkowitych korelacji a splątaniem (mierzonym ujemnością) i korelacjami klasycznymi. Wynik uzyskany jest tylko dla stanów czystych i nawet wówczas ma postać nierówności, co ogranicza jego wydźwięk w porównaniu np. z analogicznymi twierdzeniami dla miar opartych na entropii względnej. Jest to pewno cecha odległości PT.

W kolejnym rozdziale, Doktorant bada problem detekcji nieklasyczości oddziaływań przenoszonymi przez układ pośredniczący. Motywacją do takich badań, prowadzonych ostatnio intensywnie, jest próba ustalenia czy oddziaływanie grawitacyjne ma kwantową naturę na podstawie obserwacji np. generacji splatania. W pracy słusznie rozdzielony jest problem nieklasyczości na nieklasyczość kinetyczną (nieklasyczość stanów) i dynamiczną (nieklasyczość oddziaływań). Tematem badań jest ta ostatnia w prostym scenariuszu trójukładowym. Nieklasyczość jest zdefiniowana w dość abstrakcyjny sposób jak nierozkładalność, ze względu na podukłady, dynamiki (reprezentowanej przez ogólne odwzorowanie CPTP), co motywowane jest komutatywnością oddziaływań jeśli dynamika jest Hamiltonowska. Wyprowadzone jest następnie szereg warunków koniecznych na nierozkładalność dynamiki, wyrażonych poprzez więzy na korelacje. Jako przykład, zastosowano te warunki do analizy dynamiki Jaynesa-Cummingsa, identyfikując kiedy dynamika jest nierozkładalna. Tu nasuwa się pytanie dlaczego na wykresie 4.4, prezentującym wyniki analizy, rozkładalność, w sensie łamania warunku (4.30), zdaje się zależeć od stanu początkowego? Inny analizowany przykład to popularne odwzorowanie zamieniające SWAP, które jak się okazuje nie ma rozkładalnego rozszerzenia dla żadnego wymiaru.

Kolejne badane zagadnienie to odległość danej dynamiki od dynamiki rozkładalnej. Tu również wyprowadzony jest szereg wyników w postaci ograniczeń od dołu, wyrażonych miarami korelacji zarówno przy założeniu dostępu do pośrednika jak i bez niego. Najważniejszym wynikiem jest Twierdzenie 4.4, dające ograniczenie bez założenia dostępu do pośrednika co umożliwia, przynajmniej teoretycznie, badanie nieklasyczości pośredników bez ich znajomości. Interesujące jest powiązanie z symulowalnością dynamiki poprzez rozkład Trottera. W szczególności wspomniany jest bezpośredni związek pomiędzy generowanymi korelacjami a ilością kroków Trottera (str. 48, po Lemacie 4.1). Dobrze byłoby gdyby Doktorant wypisał ten związek explicite i szerzej omówił.

Ocena końcowa

Przedstawione przez Doktoranta wyniki stanowią oryginalny i ciekawy wkład do dziedziny badań korelacji kwantowych. Potwierdza to fakt, iż oparta jest na dwóch publikacjach w bardzo dobrych pismach – Phys. Rev. A oraz Quantum (Doktorant posiada w swym dorobku jeszcze trzy publikacje, również w bardzo dobrych pismach). Praca jest matematyczna, twierdzenia oraz ich dowody są często wysoce nietrywialne co pokazuje świetny warsztat techniczny Doktoranta. Na osobną uwagę zasługuje dobór literatury, który jest wręcz przykładowy. Doktorant cytuje wszystko co potrzeba i tam gdzie trzeba, co świadczy o jego bardzo dobrym rozeznaniu w temacie badań. Co do uwag krytycznych, to przedstawiona praca jest dość surowa, można było pokusić się o próbę szerszej interpretacji uzyskanych twierdzeń, zwłaszcza w kontekście fizycznym. Również można było napisać tekst trochę staranniej, czasem trzeba się domyślać intencji autora. Nie są to jednak zarzuty poważne.

Podsumowując, przedstawiona rozprawa doktorska mgra Ray Ganardi spełnia ustawowe i zwyczajowe wymogi stawiane pracom doktorskim. Wnoszę więc o dopuszczenie Pana mgra Ray Ganardi do dalszego etapu przewodu doktorskiego.

dr hab. Jarosław Korbicz