

Streszczenie rozprawy doktorskiej

Opisy świata kwantowego oraz klasycznego znacznie się od siebie różnią nie tylko w swoich sformułowaniach matematycznych, ale także w podstawowych koncepcjach i konsekwencjach filozoficznych. Próbując naprawdę zrozumieć naturę kwantowego świata, niewątpliwie musimy odwołać się do wspólnego podłoża teorii klasycznej i kwantowej. Stąd naszym celem jest zbadanie możliwych ontologii i cech teorii kwantowych. Oprócz podstawowego znaczenia, badanie możliwych cech nieklasyczności układów fizycznych ma ogromne znaczenie, ponieważ niesie ze sobą potencjał innowacyjnych zastosowań teorii kwantowej w obliczeniach, komunikacji i przetwarzaniu informacji.

W przedstawionej pracy doktorskiej zbadane zostały sprzeczne z intuicją, nieklasyczne właściwości układów fizycznych, leżące u podstaw teorii kwantowej oraz rozwinięto wiele nowych kierunków w komunikacji kwantowej, ustanawiając jednocześnie ważne połączenia między nimi.

Na początku pracy opisujemy konstrukcje ontologiczne, leżące u podstaw każdej teorii operacyjnej oraz różne pojęcia niekontekstualności i lokalnej przyczynowości. Następnie przechodzimy do głównych wyników, opierających się na dziewięciu publikacjach. Najpierw badamy alternatywną koncepcję nielokalności wielocząstkowej i analizujemy strukturę różnych zbiorów korelacji dla układów trójcząstkowych, proponując nowe nierówności typu Bella [1].

Kilka kolejnych prac dotyczy związku między nielokalnością a lokalną kontekstualnością. W najprostszym nielokalnym układzie, w którym dwóch użytkowników dzieli ze sobą parę splątanych kubitów, pokazujemy, że lokalna kontekstualność odgrywa ważną rolę w ujawnianiu nielokalności [2].

W innej pracy, stosując teorię grafów, rozwijamy metodę uzyskiwania zunifikowanej relacji monogamicznej pomiędzy korelacjami nielokalnymi a kontekstualnymi. W pracy tej prowadzamy również nieodkrytą dotąd właściwość aktywacji monogamii (*ang. activation of monogamy*) niemonogamicznej nierówności Bella za pomocą lokalnej kontekstualności [3]. Następnie zajmujemy się podstawowym zagadnieniem odnoszącym się do założenia determinizmu w ujęciu niekontekstualności przez Kochena-Speckera [4]. Wprowadzamy przeformułowanie nierówności niekontekstualnych przy użyciu uogólnionego pojęcia niekontekstualności bez odwoływania się do determinizmu.

W kolejnych pracach zwięźle przedstawiamy dwa blisko ze sobą powiązane aspekty kwantowej komunikacji: złożoność komunikacji kwantowej oraz świadka wymiaru układu kwantowego. Następnie analizujemy konkretny przykład zadania komunikacyjnego, jakim są kody swobodnego dostępu (*ang. random access codes*) i przewagę wykorzystania w nim zasobów kwantowych. Zalety oferowane przez zasoby kwantowe w komunikacji mogą być wykorzystane na dwa różne sposoby. Pierwszy z nich wykorzystuje splątane stany kwantowe oraz klasyczną komunikację, która służy do ogłaszania wyniku pomiaru dokonanego na tych stanach. W drugim sposobie przesyłany jest przygotowany stan kwantowy, na którym następnie dokonuje się pomiaru w celu odczytania informacji. Kolejne artykuły ukazują nierównoważność w wykorzystaniu tych dwóch metod zastosowania kwantowych zasobów w zaskakująco prostym scenariuszu [5]. Następnie wskazujemy dwie główne przeszkody w implementacji protokołu świadka wymiaru stanu kwantowego niezależnego od urządzenia (*ang. device independent dimension witness*) w scenariuszu typu przygotowanie-pomiar (*ang. prepare-and-measure scenario*). Jedną z przeszkód jest wymaganie wielu wyników pomiarów kwantowych, aby poświadczyć duży wymiar układu. Kolejną jest tak zwana „luka w efektywności pomiaru” (*ang. detection efficiency loophole*), która mówi, że test kwantowości całkowicie niezależny od urządzenia, może być konkluzywny tylko wtedy, gdy detektory posiadają sprawność powyżej pewnego progu. Wprowadzamy dwa nowe warianty kodów swobodnego dostępu, które certyfikują dowolnie duży wymiar układu kwantowego, stosując jedynie binarny wynik pomiaru. W ten sposób uzyskujemy również możliwość wykrycia nieklasyczności układu w eksperymencie o dowolnie niskiej efektywności detektorów [6, 7].

W dwóch ostatnich artykułach przedstawiamy kwantową kontekstualność jako potencjalny zasób w kilku zadaniach komunikacyjnych. Wprowadzamy ogólny schemat utajnionej komunikacji (*ang. oblivious communication*), w której pewna informacja dotycząca wejścia nadawcy powinna być

zastrzeżona. Pokazujemy, że jakakolwiek przewaga w tym zadaniu nad kanałem klasycznym wskazuje, że użytym zasobem była kwantowa kontekstualność (*ang. preparation contextuality*). W zgodności z każdym logicznym dowodem kontekstualności Kochena-Speckera wprowadzamy zadania złożoności komunikacyjnej oraz utajnionej komunikacji, w której przewagę mają zasoby kwantowe, z których wynika zbiór wektorów pojawiający się w zbiorze Kochena-Speckera [8]. W naszej ostatniej pracy konstruujemy nowe protokoły utajnionej komunikacji w których przewaga zasobów kwantowych nad klasycznymi świadczy o kwantowej kontekstualności [9].

Na koniec nakreślamy ogólną wizję połączenia różnych pojęć nietrywialnych ontologicznych cech teorii kwantowej i kilku aspektów kwantowej komunikacji. Wskazujemy na nasz wkład w tej dziedzinie oraz wymieniamy kilka otwartych problemów do przyszłych badań.

Literatura

- [1] D. Saha, and M. Pawłowski, *Structure of quantum and broadcasting nonlocal correlations*, Phys. Rev. A 92, 062129 (2015).
- [2] D. Saha, A. Cabello, S. K. Choudhary, and M. Pawłowski, *Quantum nonlocality via local contextuality with qubit-qubit entanglement*, Phys. Rev. A 93, 042123 (2016).
- [3] D. Saha, and R. Ramanathan, *Activation of monogamy in non-locality using local contextuality*, Phys. Rev. A (R) 95, 030104 (2017).
- [4] Z.-P. Xu, D. Saha, H.-Y. Su, M. Pawłowski, and J.-L. Chen, *Reformulating Noncontextuality Inequalities in an Operational Approach*, Phys. Rev. A 94, 062103 (2016).
- [5] A. Hameedi, D. Saha, P. Mironowicz, M. Pawłowski, and M. Bourennane, *Complementarity between entanglement-assisted and quantum distributed random access code*, Phys. Rev. A 95, 052345 (2017).
- [6] A. Hameedi, B. Marques, P. Mironowicz, D. Saha, M. Pawłowski, and M. Bourennane, *An unconditional experimental test of Nonclassicality*, arXiv:1511.06179 [quant-ph].
- [7] M. Czechlewski, D. Saha, A. Tavakoli, and M. Pawłowski, *Efficient device independent dimension witness of arbitrary quantum system employing binary outcome measurement*, arXiv: 1803.05245 [quant-ph].
- [8] D. Saha, P. Horodecki, and M. Pawłowski, *State independent contextuality advances one-way communication*, arXiv: 1708.04751 [quant-ph].
- [9] D. Saha, and A. Chaturvedi, *Preparation contextuality: the ground of quantum communication advantage*, arXiv: 1802.07215 [quant-ph].