

Opinia o osiągnięciach naukowych dra Michała Studzińskiego w związku z postępowaniem w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych w dyscyplinie nauki fizyczne

Spełnienie wymogów formalnych (art. 219 ustawy)

- 1) Stopień doktora nauk fizycznych został nadany panu Studzińskiemu w roku 2015 uchwałą Rady Wydziału Matematyki, Fizyki i Informatyki Uniwersytetu Gdańskiego.
- 2) Dr Studziński przedstawił jednotematyczny cykl dziesięciu publikacji, który stanowi znaczący wkład w rozwój kwantowej teorii informacji.
- 3) Dr Studziński wykazał się istotną aktywnością naukową realizowaną na Uniwersytecie Gdańskim oraz na Uniwersytecie Cambridge w Wielkiej Brytanii.

Omówienie cyklu publikacji pt.: *“Teoria reprezentacji grup i algebr jako narzędzie do opisu i konstrukcji nowych kwantowych protokołów przetwarzania informacji”*

Przedstawiony cykl składa się z dziesięciu wieloautorskich prac oznaczonych [H1-H10], które ukazały się w cenionych międzynarodowych czasopismach naukowych. Wyniki przedstawione we wszystkie pracach są na wysokim poziomie i stanowią znaczący wkład w rozwój kwantowej teorii informacji. Udokumentowany wkład dra Studzińskiego w powstanie tego cyklu jest zdecydowanie kluczowy, zatem może on śmiało stanowić podstawę nadania mu stopnia doktora habilitowanego.

Prace [H2, H3, H4, H7, H8, H9, H10] dotyczą badań nad protokołem teleportacji Ishizaki i Hiroshimy (PBT — port-based teleportation), który używa wielu portów (wielu par stanów maksymalnie splątanych) i nie wymaga korekcji stanu po pomiarze. Teleportacja kwantowa jest podstawowym protokołem kwantowej teorii informacji, a prace mające na celu jego uogólnienie i lepsze zrozumienie mają duże znaczenie dla rozwoju tej teorii.

W pracy [H2] badano algebrę częściowo transponowanych operatorów permutacji. Autorom udało się uprościć wcześniejsze twierdzenia i otrzymać nowe wyniki dla nieredukowalnych reprezentacji tej algebry. Otrzymane wyniki zostały następnie zastosowane do opisu deterministycznych protokołów PBT (dPBT). W ten sposób otrzymano nowe dowody asymptotycznych zachowań wierności teleportacji.

Praca [H3] poświęcona jest protokołom PBT, w których teleportowane są stany o dowolnej liczbie poziomów. Standardowe metody analizy wydajności takich protokołów są niezwykle wymagające z punktu widzenia złożoności obliczeniowej i w praktyce działają dla układów nisko-poziomowych. W [H3] autorzy proponują nowe teorio-grupowe narzędzia pozwalające na analizę wydajności protokołów PBT dla dowolnej ilości portów N i dla układów o dowolnej liczbie poziomów d . Te narzędzia pozwoliły na otrzymanie jawnych równań opisujących wydajność protokołów PBT dla dowolnego N i d .

W pracy [H4] pokazano, że optymalna wydajność protokołu dPBT jest opisana przez matematyczny obiekt nazwany macierzą teleportacji, który określa zależności pomiędzy stanami wejściowymi i wyjściowymi. Wynik ten jest bardzo ciekawy, ponieważ wprowadza kompletnie nowe podejście do analizy protokołów teleportacji. Okazuje się, że optymalna wierność teleportacji w protokole dPBT jest dana przez zaskakująco proste wyrażenie — kwadrat największej wartości własnej macierzy teleportacji podzielony przez kwadrat wymiaru teleportowanego układu.

Praca [H7] dotyczy analizy transmisji informacji kwantowej w protokołach PBT i MPBT (multi-port-based teleportation). W przeciwieństwie do standardowej miary pojemności kanału, tutaj autorzy badają asymptotyczny wykładnik α , gdzie N^α to ilość przesłanych kubitów/kudatów, a N to ilość splątanych par. Zaobserwowano krytyczne zachowanie jakości transmisji w zależności od parametru α i pokazano, że nawet nieoptymalne protokoły MPBT są bardziej wydajne od optymalnych PBT.

Prace [H8] i [H10] dotyczą wydajności i optymalności protokołów MPBT pozwalających na teleportację stanu układu złożonego. Autorzy znajdują optymalne protokoły MPBT, co jest istotnym wynikiem z punktu widzenia tego kierunku badań. Wyniki otrzymano za pomocą formalizmu teorii grup i reprezentacji, w szczególności wykorzystano symetrie protokołów aby rozwiązać problem optymalizacji w całości analitycznie. Ponadto autorzy argumentują, że zastosowane przez nich narzędzia mogą znaleźć zastosowanie w innych zagadnieniach, takich jak projektowanie obwodów kwantowych.

W pracy [H9] zbadano jak wierność protokołu PBT wiąże się z możliwością recyklingu stanów splątanych, czyli możliwością ich ponownego użycia w kolejnym protokole teleportacji. Wynik ten jest istotny ze względu na fakt, że splątanie jest kluczowym zasobem w kwantowej teorii informacji i możliwość wykonywania kwantowych operacji bez całkowitego zużycia splątania otwiera drogę do bardziej efektywnych protokołów. Ponadto, dzięki użytym narzędziom matematycznym, praca [H9] stanowi wkład w badania nad kowariantnymi kanałami kwantowymi.

Pozostałe trzy prace z cyklu [H1, H5, H6] dotyczą innych zagadnień z dziedziny kwantowej teorii informacji. W pracy [H1] badano nieredukowalne kowariantne przekształcenia liniowe. W szczególności otrzymano konieczne i wystarczające warunki na to aby takie mapy miały fizyczną interpretację kanału kwantowego.

W pracy [H5] wyprowadzono kryteria na dodatniość przekształceń kwantowych indukowanych nieredukowalnymi kowariantnymi liniowymi operatorami. Problem dodatniości przekształceń jest niezwykle istotny w kwantowej teorii informacji, jak i w całej fizyce kwantowej, ponieważ dotyczy on stwierdzenia, które abstrakcyjne przekształcenia matematyczne mają swoje fizyczne odpowiedniki. Autorom udało się wyprowadzić szereg kryteriów dla grup przekształceń w niskowymiarowych przestrzeniach oraz kryterium dla d -wymiarowej unitarnej grupy $MU(d)$.

Praca [H6] rozważa testowanie i klasyczną symulację ewolucji kwantowych. Użyto do tego specjalnej bazy operatorowej — bazy Weyla (zwanej również bazą Weyla-Heisenberga). Okazuje się, że wiele procesów opisujących zaburzenia układów kwantowych ma diagonalną reprezentację właśnie w tej bazie. Autorzy proponują algorytm próbkujący pozwalający na oszacowanie składowych szumu w szeroko pojętych obwodach kwantowych. Ponadto autorom udało się otrzymać oszacowanie na efektywną klasyczną symulację procesów kwantowych z pewnymi rodzajami szumu, co jest ważnym wynikiem z punktu widzenia podstaw kwantowej teorii obliczeń.

Ocena aktywności naukowej dra Studzińskiego

Dotychczasowa aktywność naukowa dra Studzińskiego była realizowana głównie w dwóch placówkach naukowych — na Uniwersytecie Gdańskim oraz na Uniwersytecie Cambridge w Wielkiej Brytanii. Dr Studziński jest łącznie współautorem 25 prac. Ukazały się one w bardzo dobrych czasopismach naukowych i są efektem współpracy z naukowcami z całego świata. Tematyka tych prac dotyczy między innymi: teorii splątania, klonowania kwantowego, kryptografii kwantowej, obwodów kwantowych, kwantowych kodów korekcji błędów, termodynamiki kwantowej, a nawet całkowalności klasycznych układów. Powyższe potwierdza duże doświadczenie badawcze dra Studzińskiego.

Bardzo ważnym elementem aktywności naukowej dra Studzińskiego, jednoznacznie potwierdzającym, że ta działalność jest istotna, jest zdobycie czterech grantów badawczych (których kwota to prawie dwa i pół miliona złotych) oraz udział w roli wykonawcy w trzech kolejnych grantach. Warto również zaznaczyć, że wspomniana aktywność naukowa została uhonorowana Stypendium Ministra dla wybitnych młodych naukowców oraz Nagrodą Rektora UG. Ponadto, dr Studziński wziął udział w licznych międzynarodowych konferencjach naukowych, na których prezentował swoje wyniki, i był zapraszany do krajowych i zagranicznych ośrodków badawczych w celu prezentacji swoich badań. Na zakończenie trzeba wspomnieć, że dr Studziński wykazał się również sporą działalnością dydaktyczną, popularyzatorską i organizacyjną. Całość jednoznacznie pokazuje, że dr Studziński jest utalentowanym młodym naukowcem.

Podsumowanie

Przedstawione osiągnięcia naukowe spełniają wszystkie formalne i zwyczajowe wymogi stawiane w postępowaniu w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego, zatem wnioskuję o dopuszczenie dra Studzińskiego do dalszego etapu postępowania.

Pawel Kunziski