



UNIwersytet  
Warszawski

Wydział Fizyki

WYDZIAŁ  
FIZYKI

Warszawa, 11.09.2023

dr hab. Jędrzej Kaniewski  
Wydział Fizyki  
Uniwersytet Warszawski

### **Recenzja osiągnięcia naukowego oraz dorobku dr. Michała Studzińskiego w związku z postępowaniem o nadanie stopnia doktora habilitowanego**

Podstawą wniosku o nadanie stopnia doktora habilitowanego dr. Michałowi Studzińskiemu jest jednotematyczny cykl publikacji pt. "Teoria reprezentacji grup i algebr jako narzędzie do opisu i konstrukcji nowych kwantowych protokołów przetwarzania informacji".

#### **Wstęp**

Dr Studziński zdobył stopień licencjata (2009) i magistra (2010) astronomii na Uniwersytecie Mikołaja Kopernika w Toruniu. Pracę doktorską obronił na Wydziale Matematyki, Fizyki i Informatyki Uniwersytetu Gdańskiego w 2015 r. Następnie odbył 3-letni staż podoktorski na Wydziale Matematyki Stosowanej i Fizyki Teoretycznej Uniwersytetu w Cambridge. Od 2019 r. jest zatrudniony jako adiunkt na Uniwersytecie Gdańskim, gdzie prowadzi badania, a także działalność dydaktyczną.

Na cykl habilitacyjny składa się 10 artykułów opublikowanych w prestiżowych zagranicznych czasopismach: Physical Review Letters, New Journal of Physics, IEEE Transactions on Information Theory, Quantum, Journal of Physics A i Journal of Mathematical Physics. Wyniki zawarte w cyklu habilitacyjnym można podzielić na dwie kategorie. W pierwszej kategorii mieszczą się wyniki czysto matematyczne związane z teorią reprezentacji grup i algebr. W drugiej kategorii mieszczą się konstrukcje i analizy protokołów kwantowych do losowego testowania (randomised benchmarking) i wieloportowej teleportacji. Nie jest zaskoczeniem, że pierwsza kategoria dostarcza narzędzi do drugiej kategorii. Ponieważ moje kompetencje koncentrują się wokół protokołów kwantowych, skupię się na omówieniu wyników z drugiej kategorii.

Testowanie urządzeń kwantowych jest niezbędne do projektowania i konstruowania coraz bardziej złożonych układów. Wyczerpujące testowanie każdego elementu z osobna jest rozwiązaniem niepraktycznym dla układów powyżej pewnej złożoności. Testowanie losowe jest jednym z rozwiązań tego problemu, gdzie staramy się jednocześnie przetestować wiele elementów układu. W typowym przypadku staramy się zmaksymalizować prawdopodobieństwo wykrycia błędu (a w przypadku wykrycia błędu chcielibyśmy uzyskać

jakieś informacje o jego naturze) przy ustalonych zasobach (zwykle mierzonych przez liczbę użyć danego urządzenia i/lub liczbę wykonanych pomiarów). Problem losowego testowania jest niewątpliwie ważny z praktycznego punktu widzenia, a także budzi szerokie zainteresowanie środowiska naukowego.

Z kolei problem wieloportowej teleportacji jest uogólnieniem standardowego problemu teleportacji kwantowej, w którym splątanie i komunikacja klasyczna pozwalają w sposób deterministyczny przesłać stan kwantowy. W standardowej teleportacji klasyczna informacja jest używana do zastosowania unitarnej korekcji na wyjściowym rejestrze. W teleportacji wieloportowej zamiast jednego mamy dużą liczbę wyjściowych rejestrów, a informacja klasyczna mówi nam tylko, w którym rejestrze znajduje się nasz stan. Fakt, że stan w niezmienionej formie istnieje w którymś rejestrze daje nowe możliwości, np. możemy zaaplikować do niego kanał kwantowy jeszcze zanim dotrze do nas informacja klasyczna (cena jaką płacimy to fakt, że musimy zaaplikować kanał do wszystkich rejestrów). Ta cecha pozwala stosować teleportację wieloportową w sytuacjach, gdzie standardowa teleportacja nie mogłaby zostać użyta. Teleportacja wieloportowa występuje w wariantach deterministycznym (proces teleportacji zawsze zachodzi i analizujemy jedynie jakość stanu na wyjściu) i probabilistycznym (proces teleportacji z pewnym prawdopodobieństwem nie powiedzie się).

### **Cykl habilitacyjny**

Praca [H1]. W tej pracy autorzy analizują możliwość ponownego użycia stanu splątanego w protokole teleportacji wieloportowej dla układów większych niż kubity. Analiza taka jest oparta na zrozumieniu w jakim tempie stan splątany ulega degradacji (jest to mierzone przez wierność ze stanem maksymalnie splątanym). Używając metod teorii reprezentacji grup autorzy wyprowadzają jawny wzór na jakość stanu splątanego w optymalnym protokole.

Praca [H2]. Autorzy analizują uogólnione protokoły teleportacji wieloportowej, w której jednocześnie (w ramach jednej rundy protokołu) przesyłamy dwa stany kwantowe lub dwuczęściowy stan kwantowy. Autorzy proponują nowe protokoły (znalezione dzięki metodom teorii reprezentacji) i analizują ich wydajność. Okazuje się, że zaproponowane protokoły oferują lepsze parametry niż trywialne podejście do problemu (np. interpretujemy dwa układy kwantowe o wymiarze  $d$  jako układ o wymiarze  $d^2$  i implementujemy standardowy protokół dla takiego wymiaru).

Praca [H3] (w autoreferacie praca ta ma błędny numer arXiv). W tej pracy autorzy proponują nowe protokoły do wieloportowej teleportacji, a potem pokazują ich optymalność zarówno w przypadku deterministycznym jak i niedeterministycznym. Ostatecznie uzyskane wyrażenia zależą tylko od globalnych parametrów problemu takich jak liczba portów, liczba teleportowanych układów i ich wymiar. Wyniki zostały uzyskane

dzięki wyrażeniu problemu teleportacji przez problemy dodatnio-określone, a następnie znalezieniu ich analitycznych rozwiązań. Rozwiązanie tych problemów było możliwe dzięki symetriom problemu, które pozwalały na użycie narzędzi z teorii reprezentacji.

Praca [H4]. Autorzy proponują protokół losowego testowania oparty o operatory unitarne Weyla. Protokół ten pozwala efektywnie zidentyfikować i znaleźć parametry błędów występujących w danym obwodzie kwantowym (model błędu zakłada kombinację wypukłą różnych błędów, np. szum depolaryzujący i defazujący). Autorzy pokazują jak skutecznie policzyć zasoby wymagane do implementacji ich protokołu. Ciekawym efektem ubocznym tej analizy jest wyliczenie progu szumu, powyżej którego obwód staje się klasycznie symulowalny.

Praca [H5]. W tej pracy autorzy wyprowadzają ograniczenia dolne na wydajność wieloportowej teleportacji przez analizę konkretnych protokołów. Ograniczenia te przyjmują formę problemów optymalizacyjnych, które można skutecznie policzyć. Ostatecznie autorzy dochodzą do jawnych ograniczeń dolnych, które zależą tylko od globalnych parametrów problemu.

Praca [H8]. W tej dość technicznej pracy autorzy pokazują, że optymalna wydajność deterministycznej wieloportowej teleportacji może być powiązana z największą wartością własną pewnej macierzy. Macierz ta zawiera w sobie informacje nt. pewnego podzbioru diagramów Younga i pojawia się jako optymalne rozwiązanie do odpowiedniego problemu dodatnio-określonego.

Praca [H9]. Autorzy pokazują, że liczenie wydajności wieloportowej teleportacji, które do tej pory wydawało się problemem trudnym obliczeniowo, można znacząco uprościć używając symetrii obecnych w tym problemie. Autorzy uzyskują nowe reprezentacje algebry częściowo-transponowanych operatorów permutacji, które pozwalają na jawne policzenie wielu właściwości protokołu teleportacji wieloportowej.

Podsumowując, powyższe publikacje stanowią spójny zbiór prac na konkretny temat o dużym znaczeniu naukowym. Prace są ze sobą w klarowny sposób powiązane, stanowią kolejne kroki w celu dogłębnego zrozumienia problemu wieloportowej teleportacji i losowego testowania, a przy okazji prezentują nowe narzędzia z teorii reprezentacji. Nie ma wątpliwości, że wkład dr Studzińskiego w tę tematykę jest bardzo znaczący.

## **Podsumowanie**

Dr Studziński w trakcie swojej kariery naukowej kierował 4 grantami: Preludium, Mobilność Plus, Sonatina i Sonata. Oznacza to, że dobrze odnajduje się we współczesnym systemie prowadzenia badań. Uważam, że wybór Uniwersytetu w Cambridge na 3-letni staż podoktorski było świetną decyzją, która pozwoliła dr Studzińskiemu nie tylko

prowadzić badania na najwyższym poziomie, ale także umocnić kontakty międzynarodowe i zwiększyć widoczność swoich prac (np. dzięki wystąpieniom ustnym na QIP). Aktualnie dr Studziński prowadzi dwóch doktorantów, a ponadto udziela się w komitetach organizacyjnych konferencji i szkół letnich. Warto też wspomnieć, że w latach akademickich 2021/22 i 2022/23 łączył wszystkie powyższe działania z intensywną dydaktyką na uczelni.

Według wskazań Google Scholar na dzień 11 września 2023 dr Studziński ma indeks Hirscha 12, a jego prace były cytowane w sumie 614 razy, przy czym roczne cytowania wykazują znaczący wzrost od 2020 roku (i przewiduję, że wzrost ten utrzyma się w bieżącym roku). Uważam, że są to bardzo dobre wyniki bibliometryczne dla autora, który prowadzi badania na pograniczu fizyki teoretycznej i matematyki stosowanej.

Nie ma wątpliwości, że publikacje wskazane w cyklu habilitacyjnym stanowią znaczny wkład autora w rozwój dyscypliny naukowej. Ponadto, dr Studziński wykazuje się istotną aktywnością naukową, dydaktyczną i organizacyjną. W związku z tym rekomenduję pozytywne rozpatrzenie wniosku habilitacyjnego dr. Michała Studzińskiego.

Z poważaniem,

Jędrzej Kaniewski