

Dr hab. Katarzyna Roszak
Department of Condensed Matter Theory
Institute of Physics
Czech Academy of Sciences
Na Slovance 2, 182 00 Prague, Czechia

**Recenzja rozprawy habilitacyjnej
doktora Kamila Korzekwy**

Dr Kamil Korzekwa przedstawił do recenzji osiągnięcie naukowe pod tytułem „Optymalizacja przetwarzania informacji kwantowej w obecności więzów” na które składa się cykl piętnastu powiązanych tematycznie artykułów opublikowanych w latach 2017-2022. Dr Korzekwa wykazał się bardzo dużą aktywnością naukową w tych latach, co jest udokumentowane liczbą publikacji. Wszystkie artykuły zostały opublikowane w recenzowanych międzynarodowych czasopismach. Impact factor publikacji mieści się pomiędzy 1,488 a 12,577 (pięć publikacji ma 200 punktów według nowej punktacji MNiSW, trzy 140, pięć 100, oraz dwie 70 punktów) co świadczy o wysokiej randze czasopism. Publikacje uwzględnione w cyklu charakteryzują się umiarkowaną liczbą autorów, przy czym należy wyróżnić jednoautorską pracę opublikowaną w Physical Review A w 2017 roku. Pozostałe prace mają najczęściej trzech (5 prac) lub czterech (5 prac) autorów, trzy są dwuautorskie, a jedna ma pięciu autorów. W sześciu z prac wieloautorskich składających się na osiągnięcie naukowe dr Korzekwa jest pierwszym autorem, a w czterech jest ostatnim autorem. W pozostałych czterech pracach habilitant jest drugim autorem. Na podstawie oświadczeń współautorów oraz deklarowanego wkładu habilitanta w każdą z prac można stwierdzić, że udział doktora Korzekwy w tych pracach był wystarczająco znaczący, żeby zaliczyć część wyników badań do jego osobistego dorobku naukowego.

Artykuły stanowiące osiągnięcie naukowe wnoszą znaczący wkład w zrozumienie jak fizyczne i praktyczne ograniczenia nałożone na zagadnienia istotne w informatyce kwantowej wpływają na możliwe zastosowania i optymalizację procedur kwantowo-informatycznych.

W prezentowanym cyklu artykułów dr Kamil Korzekwa bada różne fizyczne scenariusze istotne z punktu widzenia informatyki kwantowej w przypadku, kiedy na badane układy nałożone są pewne ograniczenia. Ograniczenia te mogą mieć bardzo fundamentalne przyczyny, ale w niektórych pracach były badane ograniczenia związane z praktycznymi problemami obecnymi przy realizacji kwantowych operacji i algorytmów. Autor bada cztery rodzaje ograniczeń nazywane w pracy odpowiednio więzami termodynamicznymi, więzami pamięci, więzami symetrii i więzami klasycyzacji. Ograniczenia te znacząco różnią się od siebie i mogą doprowadzić do jakościowo różnych wyników, jak zostało pokazane w autoreferacie (i samych pracach).

Pierwszą klasą więzów przedstawionych w dziele są ograniczenia związane z własnościami termodynamicznymi układu. Dr Korzekwa rozwinął metodologię potrzebną do opisu termodynamicznego układów, które nie są wystarczająco duże do standardowego opisu, i dla

których potencjalne fluktuacje mogą osiągać porównywalne wartości jak wartości oczekiwane. Metodologia ta została wykorzystana przez dr Korzekwę do wyciągnięcia szeregu wniosków odnośnie transformacji termodynamicznych pomiędzy układami składającymi się z niewielkiej liczby podukładów.

Ponadto została sformuowana reguła podobna do twierdzenia fluktuacyjno-dyssypacyjnego pomiędzy minimum energii swobodnej a fluktuacjami w układzie. Dalsze badania nad swobodną energią pozwoliły pokazać, że możliwa jest minimalizacja procesów dyssypacyjnych przy odpowiednim wyborze stanu początkowego ze względu na fluktuacje energii swobodnej. Został również zbadany wpływ koherencji na sformuowane twierdzenie fluktuacyjno-dyssypacyjne energii swobodnej w sytuacji, kiedy układ jest przygotowany w superpozycji niezdegenerowanych stanów własnych. Wpływ koherencji był również zbadany w kontekście termodynamicznego uszeregowania stanów.

Dr Korzekwa zauważył wyraźne podobieństwo pomiędzy transformacjami termodynamicznymi opisywanymi w opracowanym przez siebie języku a transformacjami LOCC. To pozwoliło na przewidzenie i potem numeryczną weryfikację zjawiska rezonansu zasobowego dla czystych stanów splątanych.

Druga część cyklu jest związana z ograniczeniami pamięci w takim sensie, że wszystkie procesy wynikające z oddziaływania układu z otoczeniem mogą być opisane jako procesy Markova. Zbadane zostały układy kwantowe pod wpływem procesów termodynamicznych, dla których pamięć nie jest istotna. Przy tym ograniczeniu zostały określone konieczne i wystarczające warunki istnienia procesu, który pozwala przekształcić stan układu do stanu o określonej populacji. Ponadto został opracowany algorytm, który pozwala skonstruować stożek wektorów związanych z daną populacją w skończonej liczbie kroków. Wyniki te pozwoliły na zbadanie możliwości ekstrakcji pracy z układu dla klasy scenariuszy, gdzie obowiązują tak sformuowane ograniczenie pamięci.

Dodatkowo dr Korzekwa zanalizował zagadnienie, czy jest możliwe wykorzystanie kwantowych procesów badanego typu ciągle uzyskując przewagę nad scenariuszami klasycznymi. Okazuje się, że tak w takim sensie, że klasyczne procesy z pamięcią (procesy nie będące procesami Markova) mogą być symulowane przez kwantowe procesy Markova.

W dalszej części cyklu badane są efekty związane z ograniczeniami wynikającymi z symetrii. Przedstawione zostało twierdzenie wiążące dekoherencję z ewolucją obsadzeń w układzie. Związek ten jest wynikiem zasady zachowania energii (symetrii translacyjnej w czasie). Twierdzenie to może być wykorzystane między innymi do obserwacji procesów, które nie są procesami Markova.

Dr Korzekwa ponadto zbadał w tej części strukturę wypukłą i punkty ekstremalne kanałów kwantowych, które są symetryczne ze względu na działania grup Liego G . To pozwoliło na określenie związku pomiędzy symetrią w układzie a odpowiednim prawem zachowania. Zanalizowany został także problem optymalnej komunikacji w przypadku kiedy narzucone są ograniczenia związane z symetrią przy kodowaniu informacji.

Ostatnia część cyklu jest związana z ograniczeniami nazwanymi przez habilitanta więzami klasyczości. Chodzi o sytuacje, kiedy procedury informatyki kwantowej mają zostać wykorzystane do przeprowadzenia pewnej określonej transformacji z informatyki klasycznej. Oznacza to, że wykonując pomiar mamy dostęp tylko do obsadzeń (prawdopodobieństw znalezienia układu w pewnym stanie w pewnej wybranej bazie), a nie do koherencji.

Celem tych badań było zrozumienie do jakiego stopnia losowość procesów klasycznych może zostać zredukowana poprzez realizację analogicznego procesu przy pomocy układów kwantowych. Ponadto takie badania pozwalają uświadomić sobie bogactwo procesów kwantowo-informatycznych w porównaniu do ich odpowiedników klasycznych.

Realizacja tej części badań wymagała wprowadzenia przez habilitanta koncepcji koheryfikacji klasycznego kanału. Oznacza to zbiór kanałów kwantowych, których realizacja powoduje transformacje równonaczne danemu procesowi informatyki klasycznej. Problem ten został zbadany dla szeregu konkretnych przykładów, między innymi została znaleziona optymalna koheryfikacja dla wszystkich kanałów jednokubitowych oraz nieoptymalna procedura pozwalająca znaleźć koheryfikację dla dowolnego kanału kubitowego.

Podsumowując analizę autoreferatu habilitanta, publikacje wskazane jako dzieło są ciekawe z naukowego punktu widzenia, jako że wnoszą istotny wkład w zrozumienie jak można zoptymalizować kwantowe przetwarzanie informacji w sytuacjach o pewnych szczególnych ograniczeniach. Mimo pewnej różnorodności pozwalającej na analizę i zgłębienie różnych rodzajów więzów, publikacje stanowią niewątpliwie spójny cykl prac.

Dr Kamil Korzekwa ma w swoim dorobku 27 recenzowanych prac opublikowanych w większości w dobrych zagranicznych czasopiśmie. Według Web of Science dr Korzekwa ma na dzień dzisiejszy 788 cytowań i tylko 40 mniej nie uwzględniając autocytowań, oraz H-indeks 10, natomiast według Google Scholar, 1207 cytowań i H-indeks 12. Duża różnica pomiędzy tymi dwoma bazami świadczy o rozwojowej naturze badań habilitanta i należy się spodziewać znaczącego przyrostu cytowań w najbliższych latach.

Dr Korzekwa może się pochwalić rozległą współpracą z różnymi ośrodkami badawczymi zarówno w kraju i za granicą. Ponadto habilitant prezentował wyniki swoich badań na wielu konferencjach oraz na seminariach w rozlicznych uczelniach. Jest też aktywnym recenzentem w rozlicznych czasopiśmie naukowych, był recenzentem doktoratu, oraz grantów dla Narodowego Centrum Nauki. Jedyną sferą działalności uczelnianej, w której doktor Kamil Korzekwa ma niewielkie doświadczenie to prowadzenie zajęć ze studentami, ale nadrabie to bardzo dużą aktywnością przy promowaniu studentów i doktorantów.

Habilitant jest aktualnie kierownikiem projektu i był wykonawcą w dwóch projektach po uzyskaniu stopnia doktora (jednym krajowym i jednym zagranicznym), co jest rozsądnie dużą liczbą biorąc pod uwagę, że pomiędzy obroną doktoratu a złożeniem wniosku o nadanie stopnia doktora habilitowanego minęło bardzo mało czasu. Przez ten czas dr Korzekwa pracował w dwóch instytucjach naukowych na terenie Polski oraz odbył staż podoktorski na uniwersytecie w Sydney w Australii.

Podsumowując, uważam prace wskazane przez doktora Korzekwę jako cykl publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe za znaczące dla nauki i oceniam je, jak również dorobek naukowy, organizacyjny, oraz dydaktyczny, pozytywnie. Cykl publikacji jest spójny i zgodny z zaproponowanym tytułem. Działania habilitanta, a szczególnie jego działalność naukową, oceniam jako znaczące. Wielkości parametryczne takie jak liczba publikacji, liczba cytowań, i indeks Hirsha są wystarczające do uzyskania stopnia doktora habilitowanego.

Uważam, że przedstawiony do recenzji materiał potwierdza spełnienie ustawowych warunków stawianych kandydatom do uzyskania stopnia doktora habilitowanego określone w ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. poz. 1668) i dorobek naukowy kandydata uzasadnia nadanie mu tego stopnia. Wobec tego stawiam wniosek o dopuszczenie doktora Kamila Korzekwę do dalszych etapów postępowania w sprawie nadania mu stopnia doktora habilitowanego.

Ł. Roszak