



## WYDZIAŁ FIZYKI I ASTRONOMII

INSTYTUT FIZYKI TEORETYCZNEJ

pl. Maxa Borna 9  
50-204 Wrocław

tel. +48 71 375 94 08 | +48 71 375 92 86 | +48 71 375 95 66  
fax +48 71 321 44 54

[www.ift.uni.wroc.pl](http://www.ift.uni.wroc.pl)

Dr hab. Artur Barasiński, prof. UWr  
Instytut Fizyki Teoretycznej  
Wydział Fizyki i Astronomii  
Uniwersytet Wrocławski

Wrocław, 24.04.2024

### **Recenzja rozprawy doktorskiej mgr Shilan Abo pt. „Control of quantum correlations in dissipative systems: New quantum effects, and novel theoretical and experimental methods”**

Przedłożona rozprawa doktorska mgr Shilan Abo pt. „Control of quantum correlations in dissipative systems: New quantum effects, and novel theoretical and experimental methods” została przygotowana pod kierunkiem promotorów Prof. dr. hab. Adama Miranowicza i dr. hab. Ravindry Chhajlany'ego, profesora Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza. Dysertacja oparta jest o monotematyczny cykl czterech artykułów naukowych, opublikowanych w wiodących międzynarodowych czasopismach fizycznych (Physical Review Letters, Physical Review A i dwa artykuły w Scientific Reports) oraz jednej pracy dostępnej na serwerze arXiv.org. W trzech pracach pani mgr Shilan Abo jest pierwszym autorem, natomiast w dwóch artykułach jest na drugim miejscu na liście autorów, przy czym wkład dwóch pierwszych autorów jest równorzędny, jak wynika z oświadczeń współautorów.

Tematem przewodnim pracy doktorskiej jest opracowanie nowych metod pozwalających przewidywać i identyfikować różne formy korelacji kwantowych, czy też wręcz nowych efektów kwantowych, przykładowo hybrydowa blokada fotonowo-fononowa lub blokada dwufotonowa uzyskana poprzez ściskanie światła. Tego typu badania mają ogromne znaczenie w zrozumieniu i weryfikacji podstawowych praw fizyki kwantowej i fizyki wielu ciał, jak również, inżynierii nowych systemów kwantowych.

Rozprawa doktorska jest napisana w języku angielskim. Liczy ponad 160 stron i składa się z pięciu rozdziałów, trzech załączników oraz streszczenia napisanego w języku polskim i angielskim. Każdy rozdział rozpoczyna krótkie wprowadzenie (5-7 stron) zawierające motywację i cel podjętych prac, opis głównych wyników oraz ich znaczenie w szerszym kontekście technologii kwantowo-informatycznych. Następnie załączony jest przedruk dyskutowanego artykułu naukowego wraz z opublikowanymi materiałami uzupełniającymi.

Rozdział pierwszy pt. „Experimental hierarchy of two-qubit quantum correlations without state tomography” poświęcony jest detekcji różnych form korelacji kwantowych w układach opisanych dwu-kubitowymi uogólnionymi stanami Wernera, czyli statystyczną mieszaniną dwu-kubitowych stanów czystych ze stanem maksymalnie zmieszonym (często określanym jako biały szum). Stan taki stanowi wręcz podręcznikowy przykład stanu kwantowego powszechnie wykorzystywanego do weryfikacji różnego rodzaju zjawisk i protokołów kwantowych. W szczególności, w pracy przedstawiono metodę pozwalającą badać splątanie kwantowe, nielokalność Bella i sterowalność



kwantową wykorzystując macierz korelacji. Jak pokazano, elementy tej macierzy są mierzalne eksperymentalnie w oparciu o układ generujący dwie kopie badanego stanu. Uważa się jednak, że taki proces jest prostszy (oparty na mniejszej liczbie pomiarów) niż powszechnie stosowana kwantowa tomografia stanu. Główny wynik stanowi eksperymentalna demonstracja hierarchii korelacji kwantowych stanów Wernera w funkcji parametru  $p$ , czyli ilość białego szumu.

Rozdział drugi pt. „Hybrid Photon-Phonon Blockade” poświęcony jest zjawisku blokady fotonowej i tunelowania indukowanego fotonami. W szczególności w pracy rozważano system złożony z dwóch liniowo sprzężonych rezonatorów: nadprzewodzącego rezonatora mikrofalowego i rezonatora mechanicznego. W rezultacie zaproponowano nowatorski typ blokady bozonowej, zwany hybrydową blokadą fotonowo-fononową, która jest uogólnieniem standardowych efektów blokady fotonowej i fononowej. Do analizy powyższych zjawisk wykorzystano funkcje korelacji drugiego rzędu w stanie ustalonym. Dzięki temu znaleziono reżimy parametrów układu, dla których można zaobserwować cztery różne typy blokady bozonowej i/lub tunelowania indukowanego bozonem.

Rozdział trzeci pt. „Two-photon blockade via squeezing” również poświęcony jest zjawisku blokady fotonowej i tunelowania indukowanego fotonami. W szczególności pokazano, że sprzężenie układu liniowego z nieliniowym (tj. ściśniętym) rezerwuarem może generować światło wykazujące różnego rodzaju blokadę fotonów i zjawiska z nią związane. Wykorzystując funkcje korelacji wyższego rzędu, zbadano możliwość zaobserwowania zjawiska  $n$ -fotonowej blokady i tunelowania indukowanego  $n$ -fotonami oraz wyznaczona zakresy parametrów układu, dla których obserwowano wspomniane efekty kwantowe. Dodatkowo pokazano, że analogiczne wyniki można uzyskać rezygnując ze sprzężenia ze ściśniętym rezerwuarem, jeśli pole we wnęce jest w ściśniętym stanie koherentnym lub przesuniętym ściśniętym stanie termicznym. W tym przypadku również wyznaczono obszary parametrów, dla których można zaobserwować różne efekty blokady fotonowej.

Rozdział czwarty pt. „Pure dephasing in the ultrastrong coupling regime” poświęcony jest analizie procesu dekoherencji w hybrydowych układach kwantowych typu światło-materia. Dotychczasowe badania w tym zakresie opierały się na modelach pomijających oddziaływanie pomiędzy poszczególnymi podukładami. O ile takie przybliżenie wydaje się uzasadnione w reżimie słabych oddziaływań, to w przypadku ultra-silnych i głęboko-silnych sprzężeń może znacząco wpłynąć na postać zaburzenia stochastycznego opisującego rozfazowanie podukładu a w rezultacie prowadzić do niefizycznych wyników. Aby prawidłowo opisać proces dekoherencji w układach światło-materia zastosowano uogólnione równania podstawowe dla dwóch modeli opisujących oddziaływanie światła z materią (t.j. kwantowego modelu Rabiego i modelu Hopfielda) bez zastosowania przybliżenia rotującej fali. Na tej podstawie wykazano, że postać Hamiltonianu szumu może zależeć od oddziaływania światła z materią.

W rozdziale piątym pt. „Quantum exceptional points of non-Hermitian systems via quantum process tomography” przedstawiono wyniki badań dotyczące kwantowych punktów wyjątkowych Liouvillianów, rozumianych jako degeneracja wartości i wektorów własnych kwantowego Liouvillianu. W szczególności przedstawiono jak zaprojektować i dostroić proces kwantowy, aby wykrywać kwantowe punkty wyjątkowe Liouvillianów za pomocą tomografii procesów kwantowych (czyli procedura umożliwiającej rekonstrukcję superoperatora Liouvilla). Aby potwierdzić prawidłowość analizy teoretycznej, przeprowadzono eksperyment kwantowy z wykorzystaniem procesora kwantowego IBMQ. Uzyskane wyniki jednoznacznie potwierdziły słuszność stawianym założeniom a tym samym możliwość detekcji kwantowych punktów wyjątkowych w układach o małej liczbie kubitów z wykorzystaniem kwantowej tomografii procesów.

Od strony edytorskiej praca jest poprawnie i starannie napisana, jedynie nieliczne błędy typu: „with a engineered reservoir”, „is a open quantum system”, „Indeed formally, the description of vibrational excitations of a quantum nanomechanical resonator are identical to that of field excitations in an optical cavity [47]. Indeed, the description of the vibrational excitations of a quantum nanomechanical resonator is identical to that of the field excitations in an optical cavity.” - str. 27.

**Podsumowując, przedłożona praca doktorska reprezentuje wysoki poziom naukowy. Rozważane są w niej ważne zagadnienie będące w głównym nurcie badań naukowców zajmujących się optyką kwantową oraz teorią informacji kwantowej. Biorąc pod uwagę opisany w pracy wkład pani mgr Shilan Abo w powstanie i opracowanie przedstawionych wyników, z pełnym przekonaniem stwierdzam, że jest ona autorem oryginalnego rozwiązania problemu naukowego oraz wykazała się wiedzą teoretyczną w dyscyplinie nauki fizyczne. Uważam, że przedłożona rozprawa spełnia wszelkie ustawowe i zwyczajowe wymagania stawiane kandydatom do stopnia naukowego doktora. Dlatego wnoszę o dopuszczenie pani mgr Shilan Abo do dalszej części postępowania.**

Artur  
Parasinski

