

Wpłynęło dnia 20.12.2016r.

L. dz. 20/WFTiMS/SN/2016

Zał. —

Recenzja pracy doktorskiej mgra Jana Tuziemskiego

„Quantum decoherence and correlation structures”

Praca doktorska mgra Jana Tuziemskiego z nadmiarem spełnia ustawowe i zwyczajowe wymogi stawiane pracom doktorskim. Dotyczy to zarówno ilości zaprezentowanych wyników oraz, a może przede wszystkim, ich jakości. Problemy postawione przez doktoranta uważam za bardzo ambitne, a uzyskane wyniki dowodzą, że doktorant posiada gruntowną wiedzę teoretyczną oraz znakomity warsztat badawczy. Wyniki pracy doktorskiej zostały opublikowane w czterech artykułach w prestiżowych czasopismach: Phys. Rev. Lett., Photonics, Europhysics Letters oraz J. Phys. A.

Praca doktorska mgra Tuziemskiego poświęcona jest pewnym aspektom korelacji kwantowych i wpisuje się w nurt badań dotyczących podstaw fizyki kwantowej i kwantowej teorii informacji. Korelacje w układach fizycznych (zarówno klasycznych jak i kwantowych) są często kluczem do zrozumienia fizyki zagadnienia. Naszą wiedzę o układzie zdobywamy analizując różne typy korelacji. Wraz z rozwojem kwantowej teorii informacji problem opisu korelacji nabiera kluczowego znaczenia. Korelacje są kluczowym zasobem komunikacji, która de facto polega na skorelowaniu nadawcy i odbiorcy przez wymianę układów fizycznych. Fizyka kwantowa wprowadza nowe subtelne typy korelacji, które nie są dostępne w układach klasycznych. Najbardziej popularny rodzaj kwantowych korelacji to kwantowe splątanie, które jest kluczowym zasobem informacyjnym szeregu znanych protokołów kwantowych, np. protokołu kwantowej teleportacji. Okazuje się jednak, że stany kwantowe, które są separowalne, czyli nie posiadają kwantowego splątania, nadal mogą reprezentować nieklasyczne korelacje takie jak np. kwantowy dyskord.

Praca doktorska mgra Tuziemskiego koncentruje się na dwóch zagadnieniach:

- analiza korelacji w protokole zdalnego przygotowania stanu (Remote State Preparation)
- tworzenie tzw. struktur rozgłoszeniowych (Spectrum Broadcast Structures) w pewnych modelach dynamiki kwantowej. Struktura rozgłoszeniowa to specjalny stan układu + obserwowanej części otoczenia, który pozwala wielu obserwatorom obiektywnie stwierdzić, że układ jest w danym stanie – obiektywnie, tzn. bez zaburzenia stanu układu. Jest to przykład tzw. stanu klasyczno-kwantowego, w którym kwantowe stany otoczenia są rozróżnialne. Struktura rozgłoszeniowa jest dużo silniejszym warunkiem niż tzw. kwantowy Darwinizm zaproponowany przez Żurka.

W pewnym sensie są to dwa odrębne zagadnienia i moim zdaniem gdyby autor poprzestał tylko na drugim zagadnieniu, którego analiza zajmuje zdecydowanie więcej miejsca, zebrany materiał nadal stanowiłby bardzo dobrą rozprawę doktorską.

Praca doktorska mgra Tuziemskiego podzielona jest na sześć rozdziałów i zajmuje razem z bibliografią 115 stron. Praca napisana jest w języku angielskim. Konstrukcja pracy jest przejrzysta i logiczna. Bibliografia jest precyzyjnie dobrana i zawiera większość istotnych pozycji literaturowych. Osobiście dodałbym historyczną pracę

M. Palma, K.-A. Souminnen, and A. Ekert, Quantum Computers and Dissipation, Proc. Roy. Soc. Lond. A**452** (1996) 567-584

która odegrała istotną rolę w zrozumieniu roli dekoherencji w algorytmach kwantowych (była cytowana ponad 800 razy).

Główne wyniki pracy:

w Rozdziale 3 autor analizuje role kwantowych korelacji w protokole zdalnego przygotowania stanu. Punktem wyjścia jest rezultat z pracy [17] (Dakic et. al. „Quantum discord as a resource for remote state preparation” Nature Physics 2012), w której autorzy pokazali, że pewne stany separowalne z niezerowym kwantowym dyskordem mogą być bardziej użyteczne niż stany splątane. Wynik ten jest wysoce nieintuicyjny i kłóci się z powszechną opinią, że kwantowe splątanie jest użyteczniejszym zasobem niż kwantowy dyskord. Autor przeprowadza elegancką analizę tego protokołu i pokazuje, że wspomniany nieintuicyjny wynik jest rezultatem zastosowania niestandardowej funkcji wierności (fidelity). Funkcja ta nie rozróżnia stanów ortogonalnych co prowadzi do zaskakującej konkluzji, że protokół oparty na przypadkowych stanach może być bardziej efektywny niż protokół oparty o stany z nietrywialnym dyskordem lub nietrywialnym splątaniem. Autor pokazuje, że użycie standardowej wierności Uhlmanna prowadzi do wniosku, że protokół oparty na kwantowym splątaniu jest w ogólności bardziej efektywny niż ten oparty na kwantowym dyskordzie (wynik opublikowano w Phys. Rev. Lett.). Co ciekawe, przy nałożeniu pewnych dodatkowych ograniczeń, rezultat ten przestaje być prawdziwy i można pokazać, że stany separowalne okazują się bardziej efektywne. Wynik ten uważam za bardzo ciekawy. Co więcej pokazuje on subtelne różnice między różnymi rodzajami kwantowych korelacji.

Kolejne dwa rozdziały (4 i 5) analizują powstawanie struktur rozgłoszeniowych w pewnych modelach dynamiki kwantowej. W Rozdziale 4, który ma bardziej ogólny charakter, autor analizuje szeroką klasę układów typu „zbiór oscylatorów harmonicznych” tworzących otoczenie + „układ centralny” sprzężony z otoczeniem poprzez liniowe kombinacje operatorów położenia i pędu oscylatorów otoczenia. Cechą charakterystyczną tego układu jest brak hamiltonianu własnego „układu centralnego”. Pozwala to na wyprowadzenie czynnika dekoherencji $\Gamma(t)$ oraz czynnika przekrycia między różnymi stanami makrofrakcji. Wyniki te zostały zastosowane w Rozdziale 5 do analizy modelowego układu w teorii kwantowych układów otwartych – kwantowego ruchu Browna. Układem centralnym jest oscylator harmoniczny, a otoczenie jest modelowane ponownie przez zbiór oscylatorów. Autor przeprowadza najpierw uproszczoną analizę pomijając hamiltonian własny układu centralnego oraz/lub otoczenia, a następnie dokonuje analizy pełnego modelu w granicy, w której pomija się reakcję zwrotną otoczenia na stan układu centralnego (recoilless limit). Ciekawym aspektem analizy jest praca w dwóch reżimach – ciągłym i dyskretnym – oraz (w tym ostatnim przypadku) wykorzystanie teorii funkcji prawie periodycznych (almost periodic functions). Wynikiem tej analizy jest potwierdzenie powstawania struktury rozgłoszeniowej w takim układzie. Dodatkowo proces formowania takiej struktury zależy od początkowego stanu otoczenia, a efektywność całego procesu zależy w istotny sposób od temperatury otoczenia. Aspekt ten był również poddany wnikliwej analizie.

W Rozdziale końcowym autor podsumowuje pracę i stawia również szereg ciekawych pytań. Model analizowany w pracy dopuszcza jedynie jeden charakterystyczny efekt oddziaływania układu z otoczeniem – dekoherencję. Naturalnym pytaniem jest istnienie struktur rozgłoszeniowych po uwzględnieniu nie tylko dekoherencji ale również dysypacji. Wyjście poza schemat czystej dekoherencji stanowiłoby istotne wzmocnienie hipotezy o uniwersalności struktur rozgłoszeniowych. Jestem ciekawy co autor sądzi na ten temat. Dekoherencje w układach o zmiennych ciągłych opisuje się często za pomocą funkcji Wignera. Czy w schemacie powstawania struktur rozgłoszeniowych taki opis wnosi coś ciekawego?

Ocena końcowa: Pracę doktorską mgra Jana Tuziemskiego oceniam bardzo wysoko. Uważam, że z nadmiarem spełnia ustawowe i zwyczajowe wymogi stawiane pracom doktorskim. Doktorant postawił szereg ambitnych problemów i uzyskał bardzo ciekawe rezultaty, które zostały opublikowane w bardzo dobrych czasopismach: Phys. Rev. Lett., Photonics, Europhysics Letters oraz J. Phys. A. Mgr Tuziemski jest również współautorem trzech innych artykułów, które nie łączą się w bezpośredni sposób z problematyką pracy doktorskiej. Przedstawiona praca doktorska świadczy o głębokiej wiedzy teoretycznej, znakomitym warsztacie badawczym oraz dużej samodzielności naukowej. Wnoszę o dopuszczenie pana mgra Jana Tuziemskiego do dalszego etapu przewodu doktorskiego. Uważam, że jego praca doktorska w pełni zasługuje na wyróżnienie.

Toruń, 6 grudnia 2016



prof. dr hab. Dariusz Chruściński

