

Warszawa, dnia 20 maja 2011 r.

Recenzja pracy doktorskiej magistra Michała Ławniczaka
pod tytułem:

Badanie chaosu kwantowego w układach otwartych

Niemalające, od ponad 30 lat, zainteresowanie chaosem kwantowym, stymulowane jest nie tylko wagą i atrakcyjnością pytania o związek między nieliniową, nieregularną klasyczną dynamiką układów zachowawczych a dynamiką kwantową układów klasycznie chaotycznych, różnorodnością stosowanych metod matematycznych - od symbolicznej dynamiki po najnowsze metody fizyki statystycznej wywodzące się ze statystyki matematycznej, lecz również, a zwłaszcza w ostatnich latach, burzliwym rozwojem nanotechnologii, mikroelektroniki czy chemii kwantowej oraz rodzącymi się oczekiwaniami, tymi już sformułowanymi i tymi jeszcze z pogranicza fantazji.

Już od momentu postawienia pytania o istotę chaosu kwantowego”, prócz badań teoretycznych, istniał wyraźny trend zmierzający do głębszego zrozumienia zjawiska poprzez obliczenia modelowe, co wymagało dysponowania wiarygodnymi danymi eksperymentalnymi, a w szczególności możliwie precyzyjnie określonymi warunkami samego eksperymentu, bez których prawidłowa parametryzacja modelu byłaby pozbawiona sensu.

Uważam zatem, że temat podjęty przez mgr Michała Ławniczaka jest naukowo wartościowy, ciekawy i bardzo aktualny.

Rozprawa doktorska składa się z 4 rozdziałów i obejmuje 66 stron, nie licząc stron tytułowych, spisu treści oraz 96 pozycji literaturowych. Z cytowanej literatury wynika, że istotna część wyników została już opublikowana w 5 pracach, w których mgr Ławniczak jest współautorem. Łącznie, Pan Michał Ławniczak jest współautorem 7 artykułów zamieszczonych w czasopiśmie z tzw. Listy Filadelfijskiej, w tym dwóch w Physical Review E, oraz trzech, opublikowanych w materiałach konferencyjnych, ustnych wystąpieniach podczas międzynarodowych konferencji.

We wstępie, w części 1.1 i 1.2 dotyczących chaosu klasycznego oraz kwantowego, Autor przytacza klasyczną definicję chaosu deterministycznego, wskazując podstawowe trudności z identyfikacją zachowań chaotycznych na poziomie opisu kwantowego. Część 1.2 wprowadza ważne dla opisu i charakterystyki badanych układów pojęcia, powszechnie stosowane w badaniu klasycznych układów chaotycznych, rozkłady gęstości tzw. najbliższych sąsiadów, NNSD, tu, w zagadnieniach kwantowych, dotyczy to rozkładu poziomów energetycznych. Następnie, przyjmując za udowodnione założenie o statystycznym podobieństwie widm poziomów energetycznych w układach chaotycznych, do ich

hamiltonianów w postaci zespołu macierzy przypadkowych, Autor zadaje istotne pytanie, czy w kwantowych układach chaotycznych istnieją uniwersalne rozkłady najbliższych sąsiadów.

Ograniczając się do dwóch klas zespołów macierzy przypadkowych, GOE i GUE, odpowiadających odpowiednio, hamiltonianom z symetrią ze względu na odwrócenie czasu oraz hamiltonianom układów łamiących tę symetrię, udziela odpowiedzi twierdzącej, wskazując równocześnie na znaczące trudności eksperymentalne wspólne również innym metodom identyfikacji chaosu kwantowego w układach z absorpcją, takim jak korelacja odległości między poziomami energetycznymi, sztywność spektralna, etc., a właśnie układy z absorpcją były tematem Jego pracy.

Część 1.3 wstępu to wprowadzenie do teorii grafów kwantowych oraz kilka ważnych informacji o bilardach kwantowych i odpowiadających im rozkładach NNSD.

Część 2, poświęcona badaniom doświadczalnym, pokazuje że grafy mikrofalowe zrealizowane przez sieć przewodów koncentrycznych, gdzie propagacja fali elektromagnetycznej opisywana jest równaniem Telegrafistów, równoważne są matematycznie grafom kwantowym z symetrią względem odwrócenia czasu opisanym jednowymiarowym równaniem Schrodingera. Poznajemy również przepis na to, jak uwzględnić w równaniu Schrodingera absorpcję obecną w grafie kwantowym poprzez dodanie potencjału optycznego.

W punkcie 2.3 dowiadujemy się o wzajemnej odpowiedniości, przy właściwych warunkach brzegowych, wnęki mikrofalowej i dwuwymiarowej studni potencjału. Fakt braku (?) odpowiedniości w przypadku trójwymiarowej wnęki, wobec skalarności funkcji falowej, stał się dla Autora pracy wyzwaniem doświadczalnym.

Dalej, znajdujemy zwięzły choć szczegółowy opis układu doświadczalnego: sieci mikrofalowej, trójwymiarowej wnęki mikrofalowej, zastosowanych materiałów, tłumików, łącz, cyrkulatorów, generatorów i analizatorów sieci, również wektorowych.

Część 3, to opis metod zastosowanych do "...badania statystycznych właściwości widm układów mikrofalowych symulujących chaotyczne układy kwantowe z absorpcją". Znajdujemy tu teoretyczny przepis na skalowanie energii stanów układu, konieczny dla dalszej statystycznej analizy mającej na celu identyfikację chaotyczności układu, bądź też klasy jego symetrii.

Badanie, wymienionej we wstępie statystyki NNSD, przeprowadził Autor dla sieci, dla których, według prac zespołu Prof. L. Sirko, istnieje najlepsza zgodność między teorią wykorzystującą macierze stochastyczne a wynikami badań numerycznych.

Zarówno wykresy NNSD jak i ich wersja całkowita, INNSD, potwierdzają, że przebadane dwie wersje sieci mikrofalowych, z cyrkulatorami i bez, przekonująco symulują grafy kwantowe ze

złamaną symetrią względem odwrócenia czasu oraz z symetrią zachowaną. Niestety, jak należało oczekiwać, wzrost współczynnika absorpcji, a zatem poszerzenie poziomów rezonansowych, utrudnia określenie ich położenia, i w efekcie, kryterium chaotyczności, jakim był rozkład NNSD, traci swą użyteczność.

Punkt 3.2...., dostrzegłem pewną niestandardową cechę recenzowanej pracy, niemal każdy punkt, czy część pracy zawierają, ułatwiający zarówno zrozumienie intencji Autora jak i zrozumienie dalszych wywodów, lokalny wstęp-informację o rzeczach dokonanych i ewentualnych, nierozwiązanych problemach dotyczących materii paragrafu. Niewątpliwie, czyni to lekturę pracy ciekawszą.

Punkt 3.2a, wyniki pomiarów rozkładu macierzy reakcji Wignera oraz współczynnika odbicia w obecności absorpcji. *Pokonując szereg trudności pomiarowych i interpretacyjnych – uniknięcie lub uwzględnienie wpływu procesów o nieuniwersalnym charakterze mających jednakże istotny wkład do mierzonego sygnału, Autor otrzymał wyniki doświadczalne w warunkach wysokich współczynników absorpcji, wyznaczając wartości jednoelementowej macierzy rozpraszania w sposób pozwalający na eliminację wkładów procesów bezpośrednich.*

Przekonująco wyglądają przedstawione w pracy rozkłady współczynnika odbicia $P(R)$, części rzeczywistej i urojonej macierzy reakcji Wignera $P(u)$ oraz $P(v)$, dla układów absorbujących typu GOE i GUE. Wyniki te wydają się być w wysokim stopniu zgodne z dokładnymi przewidywaniami teoretycznymi wynikającymi z teorii supersymetrii.

Po wcześniejszym wykazaniu „równoważności” rozwiązań dwuwymiarowego równania Helmholtza z odpowiednimi warunkami brzegowymi dla wnęki mikrofalowej typu bilardu z rozwiązaniami równania Schrodingera dla dwuwymiarowej studni potencjału i funkcji falowej, podobnie jak pole elektryczne, spełniającej warunki brzegowe Dirichleta, Autor przedstawia metodykę oraz realizację doświadczalną symulacji chropowatego bilardu kwantowego w trójwymiarowej wnęcie mikrofalowej, bez- oraz z absorberem. Otrzymane wyniki uważa za zachęcające do dalszych badań, pomimo iż wnęka trójwymiarowa nie może być formalnie symulacją układu kwantowego.

Punkt 3.3. Autor pokazał, że w przypadku gdy wobec znacznej wartości współczynnika absorpcji, wyznaczenie rozkładu NNSD staje się niewiarygodne, rolę identyfikatora klasy symetrii może pełnić funkcja korelacji krzyżowej. Funkcja ta dla układów z zachowaną symetrią względem odwrócenia czasu ma wartość 1, natomiast gdy symetria ta jest naruszona, jej wartość zawiera się w przedziale $(0;1)$. Eliminując wkład procesów bezpośrednich przez zastosowanie układu do pomiaru radiacyjnej macierzy rozpraszania, mgr Ławniczak zaobserwował wzrost wartości funkcji korelacji krzyżowej c_{12} ze wzrostem absorpcji, co nie pozwala na jednoznaczne stwierdzenie, czy dany układ charakteryzuje się całkowicie złamaną symetrią

względem odwrócenia czasu oraz silną absorpcją, czy też w układzie tym symetria ta jest tylko częściowo złamana. Okazało się również, że funkcja autokorelacji macierzy rozpraszania, (p. 3.3b), jest mało przydatna w określeniu klasy symetrii układów o dużym współczynniku absorpcji ze względu na szybki zanik jej transformaty Fouriera.

W punkcie 3.4, Autor wyraża oczekiwanie, że zaczerpnięty z metod analizy reakcji jądrowych, możliwy do określenia gdy znana jest macierz rozpraszania, elastyczny współczynnik rozpraszania może być, nawet w obecności silnej absorpcji, w przeciwieństwie do przebadanych już metod, jednoznacznym wskaźnikiem chaotyczności i klasy symetrii badanego układu. Wyniki otrzymane przez mgr Michała Ławniczaka potwierdzają to przypuszczenia, przy czym, dla układów ze złamaną symetrią ze względu na odwrócenie czasu, współczynnik ten został wyznaczony po raz pierwszy.

Część 4, Podsumowanie, zawiera ważniejsze idee i pomysły Autora oraz ich ocenę popartą doświadczalną i numeryczną weryfikacją.

Przystępując do końcowej oceny stwierdzam, jak wspomniałem wcześniej, że problematyka pracy jest nowoczesna, a wybrany temat pracy interesujący. Autor, oprócz części teoretycznej oraz znaczącej pracy numerycznej rzetelnie wykonał eksperymenty według logicznie zaplanowanego programu. Przeprowadzona dyskusja wyników wykazała, że Autor potrafił umiejętnie skorelować wyniki pomiarów parametrycznych z badaniami numerycznymi oraz teoretycznymi. Pozytywnie również oceniam edytorską stronę przedstawionej pracy.

Pracę doktorską Pana mgr Michała Ławniczaka przeczytałem z zainteresowaniem, zaś to co prócz jej wartości naukowej uważam za szczególnie cenne, to połączenie wymagającej techniki eksperymentalnej z zaawansowaną teorią i niebanalnymi obliczeniami numerycznymi.

Podsumowując, uważam że przedstawiona do oceny praca doktorska spełnia wszystkie ustawowe wymogi i wnioskuję o dopuszczenie Pana Michała Ławniczaka do dalszych etapów postępowania kwalifikacyjnego w celu nadania mu stopnia doktora nauk fizycznych.

W moim mniemaniu, rozprawa doktorska magistra Michała Ławniczaka pod tytułem: „Badanie chaosu kwantowego w układach otwartych” zasługuje na wyróżnienie, o co, niniejszym, wnioskuję.

Prof. dr hab. Wojciech Gadomski