

Recenzja pracy doktorskiej napisanej przez magistra Michała Ławniczaka

pt. „Badanie chaosu kwantowego w układach otwartych”

Praca pana Michała Ławniczaka poświęcona jest doświadczalnej weryfikacji przewidywań teoretycznych dla chaosu w układach kwantowych. Chaotyczne zachowania układów fizycznych stanowią dział fizyki o rozwiniętym i ugruntowanym zapleczu teoretycznym. Analiza chaosu zachodzącego w klasycznych układach dynamicznych sprowadza się do badania trajektorii układu w przestrzeni fazowej, opisanych układem nieliniowych równań różniczkowych. W przypadku układów kwantowych kryteria chaotycznych zachowań wypracowane na bazie klasycznych równań tracą sens, zjawisko chaosu jednak nadal istnieje i przejawia się w badaniach jonizacji atomów, laserów wibracyjnych, stanów kropek kwantowych, czy w zachowaniach supersieci półprzewodnikowych. Ponieważ z chaosem można się spotkać w wielu układach i w różnych zachodzących w nich zjawiskach, bardzo istotna jest umiejętna analiza charakteru zachowań chaotycznych. W przypadku chaosu kwantowego analiza taka często sprowadza się do badania statystycznych własności widm energetycznych tych układów. Standardowym sposobem klasyfikacji zachowań chaotycznych układów kwantowych jest sprawdzenie do jakiej klasy symetrii należy rozkład odległości pomiędzy sąsiednimi wartościami energii. Jak w swojej pracy pokazał pan Michał Ławniczak, doświadczalne dane otrzymane z badanych przez niego sieci mikrofalowych doskonale dają się opisać ortogonalnym lub unitarnym rozkładem Gaussa w zależności od tego czy zbudowane są jako układ odwracalny czy nieodwracalny w czasie. To dopasowanie pozwala na określenie rodzaju układu, jeśli nie znamy z góry charakteru badanego zjawiska. Rozróżnienie jednak nie jest takie proste w układach otwartych, czyli w obecności strat. Praca doktorska pana Michała Ławniczaka dotyczy takich właśnie układów i poszukiwania właściwych parametrów, które w przypadku układów otwartych dawałyby bardziej jednoznaczne odpowiedzi niż rozkłady odległości pomiędzy poziomami energii. Okazuje się że dobrymi kandydatami dla analizy tego rodzaju są rozkłady współczynnika odbicia, macierzy reakcji Wignera, funkcji korelacji krzyżowej macierzy rozpraszania i elastyczny współczynnik odbicia. Badana była też funkcja autokorelacji macierzy rozpraszania, która jednak nie dała zadowalających rezultatów.

Praca zawiera rezultaty obszernych badań doświadczalnych sieci i trójwymiarowych wnęk mikrofalowych. Pokazano, że te ostatnie mimo, że nie mają bezpośredniego przełożenia na układy kwantowe wykazują charakterystyczne dla nich rozkłady współczynnika odbicia podczas, gdy w rozkładach macierzy Wignera widać znaczące różnice. Wynik ten będzie dobrym punktem wyjścia dla dalszych badań chaotycznych zachowań trójwymiarowych wnęk falowych. Dla otwartych sieci mikrofalowych po raz pierwszy uzyskano doświadczalne rozkłady współczynnika odbicia oraz części rzeczywistych i urojonych macierzy Wignera. Sieci mikrofalowe dają możliwość zmiany wartości tłumienia i badania zmiany własności układu dla różnych jego wartości. Pan Michał Ławniczak analizował różne charakterystyki zachowań kwantowych układów chaotycznych i porównywał z modelami teoretycznymi. Badania te składają się na ciekawą pracę, wnosi ona wiele nowych informacji do ogólnej wiedzy na temat zachowania i sposobów analizy kwantowych układów chaotycznych. Autor podsumowuje każdą z użytych przez niego metod analizy oddzielnie, opisując użyteczność każdej z nich dla układów o dużych i małych współczynnikach absorpcji. Trochę brakuje tutaj dalszej dyskusji o stosowalności badanych charakterystyk chaosu kwantowego. Na podstawie tego, co autor pracy napisał wydaje się, że funkcja korelacji krzyżowej jest dobrym wyborem dla układów o relatywnie małej absorpcji, natomiast elastyczny współczynnik wzmocnienia jest lepszą charakterystyką w przypadku, gdy absorpcja jest duża. Nie wiemy jednak co to znaczy absorpcja duża, albo mała w stosunku do innych wielkości w układzie. Znalezienie relacji pomiędzy współczynnikiem tłumienia i innymi wielkościami w badanych sieciach pozwoliłoby na łatwiejsze zastosowanie uzyskanych wniosków w innych doświadczeniach.

Praca zaczyna się krótkim, ale bardzo ładnie napisanym wstępem wprowadzającym do teorii chaosu, wyjaśniającym pojęcie chaosu kwantowego i opisującym doświadczalne realizacje układów chaotycznych w postaci sieci i wnęk mikrofalowych. Niestety już za chwilę czytelnik musi walczyć o zrozumienie treści pracy przy braku objaśnienia niektórych symboli, powielających się oznaczeń dla dwóch różnych wielkości oraz myśli, których ciąg potrafi się urwać niespodziewanie. Na przykład na stronie 28 U_{ij} zaczyna oznaczać potencjał optyczny, podczas gdy stroną wcześniej była to różnica potencjałów. Na stronie 46 wprowadzone jest oznaczenie na rozkłady $P(R)$, $P(u)$ i $P(v)$ bez żadnych wyjaśnień i odniesienia do poprzednich wzorów. Dobrze by było też napisać wyraźnie, że bardzo istotna średnia wprowadzona na stronie 49 jest średnią po realizacjach układu. Czytelnik musi się tego domysleć podczas, gdy potrzeba uśredniania po realizacjach układu doświadczalnego wymagałaby obszerniejszego komentarza. Wydaje się że jest to cena jaką płacimy za to, że w badanych charakterystykach takich, jak rozkłady, funkcje korelacji omijamy problem dokładnego odczytu rezonansowych częstotliwości. Trudno też zrozumieć do czego ma służyć pracowicie wprowadzane skalowanie na stronach 39 i 40. Przydałby się jakiś odrobinę szerszy komentarz na temat układów o złamanej symetrii czasowej, zwłaszcza że cała praca dotyczy rozróżnienia pomiędzy takimi układami, a układami symetrycznymi. Pogubiony czytelnik może jednak zajrzeć do obszernej i często cytowanej literatury, co okazuje się w wielu miejscach przydatne i wręcz niezbędne dla zrozumienia fragmentów pracy.

Wszystkie te uwagi jednak są tylko usterkami dotyczącymi redakcji tekstu i mimo nich praca doktorska jest napisana w sposób ciekawy i zrozumiały, zawiera też jasne i zwięzłe opisane wnioski końcowe. Przedstawione wyniki badań są bardzo interesujące, dokładnie udokumentowane i prowadzą do istotnych wniosków dotyczących badania chaosu w kwantowych układach otwartych. Wyniki te zostały opublikowane w pięciu artykułach i były przedmiotem prezentacji na szeregu konferencji naukowych. Uważam że przedstawiona przez pana magistra Michała Ławniczaka praca pt „Badanie chaosu kwantowego w układach otwartych” spełnia wszelkie wymogi stawiane pracom doktorskim i stawiam wniosek o dopuszczenie doktoranta do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

M. Zieliński

