

Dynamics of Quantum State in One-Dimensional Open Systems with Random Perturbation: Phase-Space Approach

Dariusz Woźniak

Abstract

Tematem rozprawy doktorskiej jest analiza dynamiczna otwartych układów kwantowych w obecności losowego zaburzenia potencjału przy użyciu formalizmu przestrzenno-fazowego. Wykorzystując schemat kwantyzacji Stratonovicha-Weyla dla jednowymiarowego układu oddziaływującego z N -wymiarowym otoczeniem wyprowadzono, w ujęciu mikroskopowym, równanie ruchu dla funkcji Wignera. Ze względu na przyjęte założenia, uzyskane wyniki odnoszą się do słabo oddziaływujących układów bez pamięci. Otrzymane równanie ruchu, po przyjęciu liniowego wyrażenia na symbol Lindblada $L(x, p) = ax + bp$, $a, b \in \mathbb{C}$, zapisano w języku operatorowym, aby następnie przystąpiono do zastosowania metody split-operator drugiego rzędu. Generator ewolucji czasowej został wyrażony przez sumę 4 operatorów, dla których przygotowano tabelę komutacji. W wyniku przeprowadzonych obliczeń zauważono, że część generatora niezawierająca części potencjalnej może zostać odseparowana w sposób dokładny, obniżając tym samym liczbę zastosowanych transformacji Fouriera. Następnie wyprowadzono równanie ruchu dla przybliżonej uśrednionej funkcji Wignera zespołu statystycznego, otrzymując tym samym równanie ze współczynnikiem dyfuzji zależnym: liniowo od czasu, rzędu zaburzenia oraz drugiej pochodnej potencjału. Za modelowe układy przyjęto pojedynczą barierę gaussowską oraz łańcuch takich barier, a następnie każdy z tych układów zaburzone o wektor losowy, którego współrzędne były niezależnymi zmiennymi losowymi. Dla tak przygotowanych potencjałów rozwiązano numerycznie, metodą split-operator, równanie ruchu dla funkcji Wignera, przy wspólnym warunku początkowym w postaci funkcji Gaussa. Przy implementacji algorytmu w języku C++ zastosowano Szybką Transformatę Fouriera (FFTW3). Analizę dynamiczną badanych przypadków oparto o miary: statystyczne - średnie oraz odchylenia standardowe i kowariancję; przestrzenno-fazowe - parametr nieklasyczności oraz entropię Wignera-Shannona; stanu - czystość oraz echo Loschmidta; odległościowe - znormalizowana do jedności odległość w przestrzeni $L^2(\mathbb{R}^2)$ między rozwiązaniem potencjału niezaburzonego oraz między rozwiązaniem przybliżonym. Przy ich pomocy zbadano wpływ otoczenia na dynamikę układu otwartego. Dodatkowo, podjęto się analizy istnienia stanu stacjonarnego dla badanych przypadków.

Słowa kluczowe: układy otwarte, równanie Lindblada, reprezentacja przestrzenno-fazowa, funkcja Wignera, metoda split-operator, układy nieuporządkowane, ewolucja czasowa,

01.10.2025 Dariusz Woźniak