
Streszczenie

Niniejsza praca została opracowana na podstawie badań dotyczących dyskretnych kryształów czasowych (DTC) w układach ultrazimnych atomów, ze szczególnym uwzględnieniem kondensatów Bosego-Einsteina (BEC) odbijających się od oscylującego lustra w polu grawitacyjnym.

Na początku analizowana jest stabilność DTC w kontekście niedoskonałości eksperymentalnych związanych z przygotowaniem stanu początkowego układu. Wykazano, że wystarczająco silne oddziaływania międzyatomowe mogą stabilizować ewolucję czasową DTC. Ponadto zbadano wpływ fluktuacji kwantowych, stosując podejście Bogoliubova zachowujące symetrię $U(1)$. W ten sposób pokazano, że spadek liczby atomów w stanie kondensatu jest znikomy w porównaniu do całkowitej liczby atomów w układzie, co zapewnia stabilność DTC.

Na kolejnym etapie pracy rozszerzono model DTC, zamieniając pojedynczą chmurę ultrazimnych atomów na dwie chmury, które oddziałują poprzez nieskończoną siłę odpychającą. Pierwszym etapem analizy było zbadanie w ramach mechaniki klasycznej układu N nieprzenikalnych cząstek odbijających się od statycznego lustra. Dla cząstek o różnych energiach wprowadzono nowy rodzaj zmiennych kat-działanie, które uwzględniają sprężyste zderzenia, co pozwala uprościć opis dynamiki układu. Dla cząstek o równych energiach skorzystano ze standardowej definicji zmiennych kat-działanie. W obu przypadkach zbadano własności topologiczne rozmaitości, po których poruszają się cząstki w przestrzeni fazowej. W przypadku cząstek o różnych energiach rozmaitość ta jest N -torusem w $2N$ -wymiarowej przestrzeni fazowej, a dla trzech cząstek o równych energiach jest to pełny torus. Ostatecznym krokiem było wprowadzenie do modelu oscylacji lustra i opisanie go poprzez efektywny Hamiltonian, co stanowiło podstawę do dalszych badań kwantowego układu DTC złożonego z kilku chmur atomowych.

Kolejnym etapem badań była analiza układu dwóch różnych chmur atomowych, które oddziałują ze sobą poprzez nieskończoną siłę odpychającą, a wewnątrz każdej z nich występują siły przyciągające. W przestrzeni jednowymiarowej dolna chmura odbija się od oscylującego lustra, wprawiając w ruch górną chmurę. Zbadano, w jaki sposób oddziaływania wewnątrz każdej z chmur mogą prowadzić do spontanicznego łamania dyskretniej symetrii translacyjnej w czasie i powstania złożonych DTC. Z wykorzystaniem ansatzu Jastrowa przeanalizowano funkcjonal kwazienergii układu i wyróżniono dwie fazy modelu: fazę zachowującą symetrię oraz fazę łamiącą symetrię. W fazie ze złamaniem symetrii dochodzi do spontanicznego łamania dyskretniej symetrii translacyjnej w czasie, co prowadzi do powstania złożonego dyskretnego kryształu czasowego.
