Politechnika Rzeszowska im. Ignacego Łukasiewicza
Wydział Matematyki i Fizyki Stosowanej

Rzeszów, 16.02.2026

Streszczenie rozprawy doktorskiej

Tytuł: Nieliniowe efekty dynamiki kwantowej i klasycznej wywołane sprzężeniem magnetoelektrycznym w układach hybrydowych

Autor: mgr inż. Michał Wanic

Promotor: dr hab. Levan Chotorlishvili, prof. PRz

Promotor pomocniczy: dr inż. Mariusz Trybus, prof. PRz

Rozprawa doktorska poświęcona jest analizie wybranych układów hybrydowych, w których sprzężenie pomiędzy różnymi stopniami swobody prowadzi do powstawania złożonych zjawisk dynamicznych o charakterze klasycznym i kwantowym. Głównym celem pracy było zbadanie roli nieliniowości oraz oddziaływań magnetoelektrycznych i optycznych w kształtowaniu emergentnych własności układów fizycznych, takich jak chaos deterministyczny, splątanie kwantowe oraz efektywna termalizacja.

W pierwszej części pracy przeanalizowano nieliniową dynamikę układu magnetoelektrycznie sprzężonego, składającego się z ferroelektrycznego kryształu oraz magnetycznego nanodysku. Wykazano, że sprzężenie magnetoelektryczne może prowadzić do powstawania rezonansów parametrycznych, bifurkacji oraz chaosu deterministycznego. Zastosowanie narzędzi analitycznych, takich jak formalizm zmiennych akcja--kąt, teoria KAM, pozwoliło na identyfikację warunków przejścia od dynamiki regularnej do chaotycznej. Wykazano również, że odpowiedni dobór parametrów zewnętrznych umożliwia kontrolę dynamiki układu.

W drugiej części pracy rozważono hybrydowy układ foton--magnon o strukturze kryształu fotonicznego. Przeprowadzono analizę nieliniowej dynamiki półklasycznej oraz zbadano własności kwantowe układu z wykorzystaniem logarytmicznej negatywności jako miary splątania. Wykazano istnienie bezpośredniego związku pomiędzy strukturą przestrzeni fazowej a generacją korelacji kwantowych. Stwierdzono, że maksymalne splątanie występuje w pobliżu granic stabilności odpowiadających przejściom pomiędzy różnymi typami punktów stałych.

W trzeciej części pracy przeanalizowano dynamikę atomu dwupoziomowego sprzężonego z wielomodowym układem optycznym. Wykazano, że atom może pełnić rolę lokalnej sondy procesu termalizacji modów. w przypadku braku termalizacji obserwuje się koherentną dynamikę z odrodzeniami kwantowymi, natomiast w przypadku skończonej temperatury modów dochodzi do dekoherencji oraz zaniku części zależnej od czasu inwersji. w granicy wysokich temperatur układ dąży do stanu równowagi z równomiernym obsadzeniem poziomów energetycznych.

Uzyskane wyniki wskazują, że sprzężenie pomiędzy różnymi stopniami swobody w układach hybrydowych prowadzi do pojawienia się zjawisk emergentnych, które mogą być kontrolowane poprzez odpowiedni dobór parametrów fizycznych. Praca stanowi spójne ujęcie przejścia od deterministycznej dynamiki nieliniowej do efektów kolektywnych i statystycznych w układach złożonych.