

УДК 535.015

ИЗУЧЕНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ ЭФФЕКТОВ В УСЛОВИЯХ ЛАЗЕРНОЙ ГЕНЕРАЦИИ В ОБОБЩЕННОЙ МОДЕЛИ ДИКЕ ДЛЯ КОМПЛЕКСНЫХ СЕТЕВЫХ СТРУКТУР

Никитина М.М. (Университет ИТМО)

Научный руководитель – доктор физико-математических наук Алоджанц А.П.
(Университет ИТМО)

В данной работе рассмотрена обобщенная модель Дике для комплексных сетевых структур, предполагающее нелинейное взаимодействие двухуровневых систем (ДУС). Исследуются регулярные, случайные и безмасштабные сетевые структуры ДУС. Работа нацелена на выявление особенностей сверхизлучательного фазового перехода в пределе нулевой температуры $T=0$, вызванных эффектом конечного размера сети.

Введение. В последние годы благодаря стремительно развивающимся технологиям возрастает интерес к исследованию квазичастиц, их связи с внешней средой и влиянию различного рода нелинейных эффектов на фазовые переходы (ФП). Для изучения влияния нелинейных эффектов необходимо рассматривать взаимосвязь между группой таких частиц. При этом каждая частица занимает отдельный узел системы, образуя сетевую архитектуру. В работе рассматривается влияние топологических свойств сетевых архитектур на явление ФП. Чтобы проследить процессы, протекающие в системе, удобно рассматривать ее на макроскопическом уровне, чтобы вся система развивалась максимально когерентно.

Такого результата можно добиться двумя способами: в конденсате Бозе-Эйнштейна (БЭК) или лазерной генерацией. Наблюдение БЭК требует трудноосуществимых условий, в то время как второй вариант более привлекателен, и для его достижения можно использовать квазичастицы, образованные с «безмассовыми» фотонами, которые будут на много порядков легче атомов за счет своей фотонной компоненты. В квантовой физике существуют такие связанные состояния – квазичастицы поляритоны, представляющие суперпозицию элементарного возмущения в среде (ее поляризацию) и фотона, сильно с ней взаимодействующего.

Таким образом, в работе разрабатывается модель поляритонного лазера с учетом нелинейных эффектов. За основу модели поляритонного лазера была взята известная модель Дике, которая хорошо зарекомендовала себя в таких работах. Она предполагает так называемый сверхизлучательный (СИ) ФП второго рода, вызывающий установление некоторой определенной (ненулевой) спонтанной поляризации в термодинамически равновесном ансамбле двухуровневых систем, взаимодействующих с квантованным полем. СИ давно известен в области квантовой оптики, он хорошо прослеживается с экситонными поляритонами в полупроводниковых микроструктурах с использованием резонатора.

Основная часть. В данной работе рассматривается ансамбль N двухуровневых систем (ДУС), взаимодействующих с фотонным полем резонатора, которое описывается операторами рождения (уничтожения) $a^\dagger(a)$. Данное взаимодействие вызывает переход между основным $|g\rangle$ и возбужденным $|e\rangle$ состояниями, который стимулируется фотонным полем и, следовательно, пропорционален количеству фотонов в резонаторе. Модель поляритонного лазера, рассмотренная в данной работе, описывается как открытая система, учитывающая процесс диссипации. В физике ДУС могут быть, например, атомы. Реальное число энергетических состояний в них может быть достаточно велико, однако с учетом экспериментальных возможностей рабочие уровни энергии подбираются под конкретную задачу.

Ансамбль N ДУС случайным образом занимает N узлов комплексной сети, которая представляется в виде графа с нетривиальными (специфическими) свойствами, вытекающими из топологии, распределения степени узлов и других характеристик. В работе

нас интересуют случайные и безмасштабные сети (графы), свойства которых характеризуются функцией распределения $p(k)$. Мы рассматриваем регулярную сетевую структуру, для которой распределение степени узлов определяется дельта-функцией, случайную сетевую структуру, характеризующуюся Пуассоновским распределением, и безмасштабную сеть со степенным распределением степени узлов. Коллективные эффекты описываются обобщенной моделью Дике, учитывающей такое нелинейное взаимодействие ДУС и позволяющей наблюдать СИ ФП второго рода.

В работе используется подход Гейзенберга, для получения динамических уравнений для оператора фотонного поля, поляризации и инверсии населенности, а также для нахождения стационарного состояния системы. Основной упор в данной работе делается на изучение влияния топологических свойств сетевой архитектуры на явление СИ ФП в пределе нулевой температуры $T=0$, вызванных эффектом конечного размера сети.

Выводы. Была разработана модель поляритонного лазера, учитывающая нелинейное взаимодействие ДУС, которая определяется сетевой архитектурой. С помощью подхода Гейзенберга получены основные динамические уравнения на операторы фотонного поля, поляризации и инверсии населённости. Показано, что СИ фазовый переход происходит при критическом значении частоты квантового фотонного поля, которая в свою очередь определяется топологией системы ДУС.

Никитина М.М.

Подпись

Алоджанц А.П.

Подпись