

ОТЗЫВ

официального оппонента
кандидата физико-математических наук

П.Н. Мелентьева

на диссертацию Н.Е. Нефедкина

«Коллективная динамика двухуровневых атомов в устройствах нанооптики и
плазмоники»,
представленную на

соискание ученой степени кандидата физико-математических наук
по специальности 01.04.13 – Электрофизика, электрофизические установки

Актуальность исследования

Диссертация Н.Е. Нефедкина посвящена одному из наиболее интенсивно развивающихся направлений современных исследований – квантовая наноплазмоника. В работе проведены исследования: (1) сверхизлучения, (2) динамики плазмонных лазеров с распределённой обратной связью, (3) статистических свойств излучения источников единичных фотонов. Проведённые исследования имеют значимый фундаментальный интерес в связи с отсутствием полной картины взаимодействия ансамблей квантовых эмиттеров с электро-магнитными полями нанометровой пространственной локализации. Полученные результаты имеют практический интерес в следующих приложениях квантовой наноплазмоники: (1) нанолокализованные когерентные источники света, (2) источники единичных фотонов высокой яркости, (3) квантовая сенсорика, (4) квантовая криптография, (5) телекоммуникации.

Структура диссертации

В диссертационной работе Н.Е. Нефедкина содержится 138 страниц, 47 рисунков. Она состоит из введения, четырёх глав, заключения и списка литературы.

Во введении обсуждаются актуальность, новизна и достоверность результатов, их практическая значимость, цели исследования и положения, выносимые на защиту, также приведены публикации по теме диссертации.

Первая глава диссертации представляет собой обзор теоретических методов, необходимых для дальнейшего изложения. Также в главе описаны основные экспериментальные результаты по теме исследования.

Вторая глава посвящена сверхизлучению в малых по сравнению с длиной волны системах. В первом разделе главы изучается сверхизлучение в системе классических диполей. Автор показал, что сверхизлучение возникает вследствие конструктивной интерференции медленных колебаний диполей в момент, когда из-за нелинейности системы формируется точка притяжения фаз. Во втором разделе исследуется система двухуровневых атомов. Делается вывод, что в квантовой системе существует механизм сверхизлучения, аналогичный механизму в классической системе. Механизм работает для различных типов состояний, а именно состояний Дике с нулевым дипольным моментом и состояний, для которых полный дипольный момент не равен нулю. В третьем разделе главы рассматривается динамика двухуровневых атомов, взаимодействующих с модой электромагнитного поля в резонаторе. Показано, что существует критическое значение добротности резонатора, при котором интенсивность излучения зависит квадратично от общего числа атомов в системе.

Третья глава диссертации посвящена исследованию нелинейных эффектов в двумерных плазмонных лазерах с распределённой обратной связью. Рассматриваются режимы постоянной и импульсной накачки. В первом

разделе описывается новый эффект, названный модовой кооперацией. Эффект заключается в том, что возбуждаются не темные моды с низкими потерями на границе запрещенной зоны, а светлые моды с высокими потерями из разрешенной зоны. Кооперация мод приводит к уширению диаграммы направленности излучения, наблюдавшемуся в экспериментальных работах. Во втором разделе изучается временной отклик плазмонного лазера в режиме импульсной модуляции в зависимости от размера пятна накачки. Показано, что существует такой размер накачиваемой области, для которого время отклика лазера минимально и равняется 1 пикосекунде.

В четвертой главе исследуются когерентные свойства излучения плазмонных и нанооптических систем. В первом разделе главы автор демонстрирует, что на линии компенсации потерь у плазмонного нанолазера под действием внешней электромагнитной волны возникает стохастический резонанс. Во втором разделе показано, что плазмонная наноантенна, накачиваемая однофотонным источником, излучает одиночные фотоны при условии, что отношение константы связи к температуре антенны много больше единицы.

Научная новизна и достоверность результатов

Диссертационная работа Н.Е. Нефедкина посвящена исследованию коллективной динамики двухуровневых атомов, взаимодействующих с электромагнитным полем. Диссертационная работа содержит следующие новые результаты:

1. При рассмотрении сверхизлучения в системе классических излучателей впервые показано существование точки сгущения фаз, возникновение которой связано с нелинейной природой системы. Показано, что в точке сгущения фаз дисперсия разности косинусов фаз дипольных моментов излучателей минимальна, а случае квантовых состояний Дике минимальна дисперсия разности операторов косинуса фазы двух различных эмиттеров.

2. Существует оптимальная добротность резонатора, при которой интенсивность сверхизлучения атомов, помещенных в резонатор, максимальна.

3. Предсказан эффект модовой кооперации в двумерном плазмонном лазере с распределенной обратной связью. Данный эффект проявляется в генерации мод с высоким порогом генерации и большими излучательными потерями.

4. Впервые определена зависимость времени отклика плазмонного лазера с распределенной обратной связью от площади пятна накачки. Показано, что при оптимальном размере пятна время отклика может достигать 1 пикосекунды.

5. Показано, что у отклика плазмонного нанолазера на внешнее поле в режиме компенсации наблюдается подавление шумов и сужение спектра фазовых флуктуаций.

6. Впервые продемонстрировано, что в пределе малого отношения энергии тепловых флуктуаций плазмонной наноантенны к энергии взаимодействия наноантенны и одиночного атома плазмонная наноантенна является однофотонным источником.

Достоверность результатов подтверждается их совпадением с результатами экспериментов, а также публикациями в мировых научных журналах и докладами на международных конференциях.

Практическая значимость

Результаты проведенных Н.Е. Нефедкиным исследований, представляют практический интерес в области создания сверхбыстрых оптоэлектронных устройств и однофотонных источников. Полученные результаты могут быть рекомендованы для использования в следующих организациях: Институт спектроскопии РАН, Физический институт Академии наук им. Лебедева, Университете ИТМО и других.

Недостатки диссертации

- 1) В мотивации диссертационной работы утверждается об активном использовании атомов в экспериментальных исследованиях наноплазмоники. Это не верно. Большинство работ проводится с использованием молекул красителей, квантовых точек. В силу экспериментальных трудностей число работ с атомами крайне мало.
- 2) В диссертационной работе в качестве квантовых эмиттеров рассмотрены двухуровневые атомы. Для экспериментальных исследований более значимым является использование молекул, обладающих сильно отличающимися от атомов оптическими свойствами. В диссертационной работе нет анализа использования найденных решений для молекул.
- 3) При рассмотрении излучения источников единичных фотонов не рассмотрен эффект увеличения интенсивности насыщения оптического перехода квантового эмиттера при его оптической связи с полем плазмонного резонатора, что приведёт на практике к ещё большим проблемам связанных с нагревом.
- 4) В п.1 научной новизны диссертационной работы утверждается о демонстрации эффекта, что не верно, т.к. диссертационная работа является теоретической.
- 5) В работе встречается дезинформирующий термин «численный эксперимент».
- 6) В диссертационной работе присутствует ряд опечаток.

Оценка диссертации в целом

Диссертационная работа выполнена на самом высоком научном уровне: (1) решаются одни из наиболее востребованных задач современной квантовой наноплазмоники, (2) найдены аналитические зависимости большинства рассмотренных эффектов, что крайне затруднительно для рассматриваемых объектов и демонстрирует высокий уровень квалификации Н.Е. Нефедкина, (3) результаты диссертационной работы опубликованы в авторитетных в

международном научном сообществе журналах: Optics Express, Physical Review A, Physical Review Applied, Laser Physics, ACS Photonics. В целом, несмотря на указанные выше замечания, диссертационная работа Н.Е. Нефедкина производит положительное впечатление. Она является завершённым исследованием, посвящённым актуальной научной задаче. Автор диссертационной работы, Н.Е. Нефедкин, продемонстрировал способность ставить и решать широкий круг научных задач, связанных с физикой коллективных эффектов в плазмонных устройствах.

Заключение

По актуальности решённых в диссертационной работе задач, научной и практической значимости результатов можно утверждать, что представленная к защите работа соответствует всем критериям, установленным п. 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней № 842 от 24.09.2013г., ред. 01.10.2018г. Автор диссертационной работы Н.Е. Нефедкин заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.13 – "Электрофизика, электрофизические установки".

Официальный оппонент
Ведущий научный сотрудник
Института спектроскопии РАН,
к.ф.-м.н.



Мелентьев П.Н.

Подпись официального оппонента заверяю
Ученый секретарь
Института спектроскопии РАН
к. ф.-м.н.



Перминов Е.Б.

Данные официального оппонента по диссертации – П.Н. Мелентьева:

Почтовый адрес: 142190 г. Москва, г.Троицк, ул. Физическая, 5, Институт спектроскопии РАН

Телефон (рабочий): + 7(495)851-02-33

Электронная почта: melentiev@isan.troitsk.ru