

ОТЗЫВ

официального оппонента

доктора физико-математических наук

Н.Е. Капуткиной

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

Диссертационная работа Н.Е. Нефедкина представлена на 138 страницах и содержит 47 рисунков. Работа включает введение, четыре главы основного текста, заключение и список литературы. К работе приложен автореферат на 20 страницах, который достаточно полно отражает основные результаты диссертации.

В работе представлено теоретическое исследование коллективных эффектов, возникающих при взаимодействии атомов с электромагнитным полем. Диссертация включает исследования по следующим направлениям:

- Изучение явления сверхизлучения в субволновых объемах: в системе классических эмиттеров, в квантовой системе двухуровневых атомов. Изучение влияния резонатора, в которой помещены атомы, на интенсивность и время задержки сверхизлучения.
- Исследование динамики двумерных плазмонных лазеров с распределенной обратной связью.
- Теоретическое и численное исследование когерентных свойств излучения плазмонных и нанооптических систем.

Диссертационная работа соответствует специальности 01.04.13 – «Электрофизика, электрофизические установки».

Актуальность исследования.

Диссертационная работа посвящена актуальным задачам по изучению коллективной динамики ансамбля двухуровневых атомов, взаимодействующего с электромагнитным полем, в устройствах нанооптики и плазмоники. Класс таких задач описывает множество явлений современной электродинамики, таких как сверхизлучение, излучение плазмонных лазеров с распределённой обратной связью, испускание одиночных фотонов. Наряду с этим понимание принципов и механизмов, лежащих в основе коллективных эффектов, позволяет управлять свойствами изучаемых систем и их излучения. Поэтому исследование коллективной динамики взаимодействующих атомов и электромагнитного поля является актуальной задачей.

Структура диссертации

Во введении обсуждаются актуальность, новизна, достоверность и практическая ценность полученных результатов. Также обсуждаются цели исследования, положения, выносимые на защиту, и приведены публикации по теме диссертации.

Первая глава является обзором литературы, в котором показано, какое место занимают решенные задачи среди большого объема имеющегося материала. Также в ней даны общие сведения, необходимые для последующего изложения: о сверхизлучении, лазерах с распределенной обратной связью, плазмонных нанолазерах, а также описаны используемые теоретические подходы.

Вторая глава целиком посвящена явлению сверхизлучения в субволновых системах. Она поделена на три раздела. В первом разделе исследуется механизм возникновения сверхизлучения в системе классических эмиттеров. Автор, основываясь на полученных результатах, делает вывод, что сверхизлучение – явление нелинейное, оно возникает вследствие образования точки притяжения фазовых траекторий. В сформированной точке происходит конструктивная интерференция медленных колебаний дипольных моментов

эмиттеров. Во втором разделе автор исследует ансамбль двухуровневых квантовых эмиттеров. Показано, что механизм возникновения сверхизлучения в такой квантовой системе аналогичен механизму в классической. Это утверждение остается верным как для незапутанных, так и для запутанных начальных состояний системы. В третьем разделе рассмотрен частный случай влияния добротности резонатора, в который помещены атомы, на эффективность сверхизлучения. Автор показывает, что существует оптимальное значение добротности, при котором интенсивность излучения максимальна.

Третья глава включает в себя изучение динамики двумерных плазмонных лазеров с распределенной обратной связью. В первом разделе описывается возникновение нового эффекта модовой кооперации в таких лазерах, который заключается в том, что возбуждаются светлые моды из разрешенной зоны с высокими потерями, а не темные моды, находящиеся на краю зоны и имеющие меньшие потери и более низкий порог генерации. Во втором разделе при исследовании времени отклика лазера на импульсную накачку автор показал, что время отклика зависит от площади пятна накачки. Зависимость такова, что существует минимальное значение времени отклика, равное 1 пикосекунде.

В четвертой главе исследуются функции когерентности первого и второго порядков излучения плазмонных систем. В начале главы показано, что у плазмонного нанолазера под действием внешней монохроматической электромагнитной волны на линии компенсации потерь возникает стохастический резонанс. Во втором разделе утверждается, что плазмонная наноантенна увеличивает скорость излучения однофотонных источников, также приведены условия, при которых однофотонность излучения сохраняется. Эти условия таковы: отношение константы связи наноантенны с источником к температуре наноантенны должно быть много больше единицы.

В заключении кратко сформулированы основные результаты работы.

Научная новизна и достоверность результатов.

Представленная работа содержит ряд новых результатов, из которых наиболее значимыми являются следующие:

1. Сверхизлучение в системе как классических, так и квантовых эмиттеров связано с существованием точки сгущения фазовых траекторий излучателей, которая возникает вследствие нелинейной природы системы. В этой точке минимальна дисперсия разности косинусов фаз излучателей, а при рассмотрении квантовых состояний Дике – операторов косинуса фазы.
2. Показано существование такой добротности резонатора, в который помещены атомы, при котором интенсивность сверхизлучения максимальна.
3. В двумерном плазмонном лазере с распределенной обратной связью продемонстрирована генерация на светлых модах с высоким порогом и большими потерями. Этот эффект, названный модовой кооперацией, объясняет уширение диаграммы направленности излучения лазера в эксперименте.
4. Найдена зависимость времени отклика плазмонного лазера с распределенной обратной связью от размера пятна накачки. Показано, что время отклика может достигать 1 пикосекунды.
5. Предсказано возникновение стохастического резонанса в системе плазмонного нанолазера и падающей на него внешней монохроматической волны.
6. Показано, что плазмонная нанополупроводниковая антенна, возбуждаемая однофотонным источником, излучает одиночные фотоны в случае, когда отношение энергии взаимодействия нанополупроводниковой антенны и однофотонного источника к энергии тепловых флуктуаций нанополупроводниковой антенны много больше единицы.

Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 7 статьях в ведущих рецензируемых научных журналах, индексируемых в базе данных Web of Science, и представлены автором лично на российских и международных конференциях, что подтверждает научную новизну результатов.

Обоснованность и достоверность результатов подтверждается их соответствием известным представлениям о характере явлений в исследуемых объектах и качественным совпадением с результатами экспериментов.

Практическая значимость

Исследования, представленные в диссертационной работе перспективны для как для улучшения характеристики некоторых существующих устройств нанооптики и плазмоники, так и для создания новых устройств. Полученные результаты открывают возможность увеличения как частоты модуляции плазмонных лазеров, так и их энергоэффективности. Полученные результаты могут быть рекомендованы для использования в следующих организациях: НИТУ МИСИС, ИТМО, ФИАН, ИСАН, МГУ и др.

Перечень замечаний

1. В первой главе раздел, посвященный сверхизлучению, излишне переполнен подробными теоретическими выкладками, которые хотя и полезны для с методической точки зрения, но не являются необходимыми для дальнейшего изложения.
2. Расчет такой сложной структуры, как DFB-лазер, представляется чрезвычайно затратным для вычислительных ресурсов. Метод расчета, используемый в диссертационной работе, практически не обсуждается, хотя известно, что нахождение устойчивого численного решения нелинейной задачи высокой размерности требует отдельного изучения.
3. В 3 главе работы импульсная накачка DFB-лазера моделируется как начальное условие для уравнений (все атомы внутри пятна накачки находятся в возбужденном состоянии). Однако в реальном лазере накачка не является «мгновенной», а также не может возбудить все атомы активной среды внутри пятна накачки.
4. В диссертации утверждается, что независимость от времени распределения электромагнитного поля позволяет рассматривать плазмонный DFB-лазер как одномодовый лазер, однако из текста неочевидно, как эволюция во времени электромагнитного поля коррелирует с одномодовым приближением.

Оценка диссертации в целом. В целом, несмотря на указанные выше замечания, диссертационная работа Н.Е. Нефедкина производит положительное

впечатление. Она является цельным, завершённым исследованием, посвящённым актуальной научной проблеме, содержит признаки научной новизны и отвечает принятым критериям достоверности. Автор диссертационной работы Н.Е. Нефедкин продемонстрировал способность формулировать и решать широкий круг научных задач, связанных с плазмоникой, физикой лазеров и фотоникой. Он владеет аппаратом математической физики, как в области аналитических исследований, так и в области численного моделирования.

Заключение. Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует всем критериям, установленным п. 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней № 842 от 24.09.2013г., ред. 01.10.2018г., а ее автор Н.Е. Нефедкин заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.13 – "Электрофизика, электрофизические установки".

Официальный оппонент
Профессор кафедры
физической химии
Национального исследовательского
технологического университета «МИСиС»,
д.ф.-м.н.

 Капуткина Н.Е.

Подпись официального оппонента заверяю
Проректор по безопасности и общим
вопросам
Национального исследовательского
технологического университета
«МИСиС»


 Исаев И.М.

Данные официального оппонента по диссертации – Н.Е. Капуткиной:

Почтовый адрес: 119991 г. Москва, Ленинский проспект, 4, НИТУ «МИСиС»

Телефон (рабочий): + 7(495)638-46-67

Электронная почта: karutkina@mail.ru