

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ  
**ИНСТИТУТ СПЕКТРОСКОПИИ**  
Российской академии наук  
**(ИСАН)**

142190, г. Москва, г. Троицк, ул. Физическая, д. 5  
Тел. +7 495 851 0579, факс +7 495 851 0886  
isan@isan.troitsk.ru, www.isan.troitsk.ru

13.12.2016 № 1224-01-1255/138

На № \_\_\_\_\_

УТВЕРЖДАЮ

Директор

Федерального государственного  
бюджетного учреждения науки  
«Институт спектроскопии РАН»  
В.И. Задков



2016

**Отзыв ведущей организации**

на диссертацию Парфеньева Владимира Михайловича

«Нелинейные явления в плазмонике и гидродинамике: теория спазера и генерация завихренности поверхностными волнами»,

представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 – теоретическая физика

Диссертацию Парфеньева В.М. условно можно разделить на две части. В первой рассматриваются нелинейные явления в плазмонных нанолазерах (спазерах), где роль резонатора для поверхностных плазмонов выполняет металлическая наночастица. Во второй части исследуется механизм генерации вихревых течений на поверхности жидкости и тонкой смектической пленки, обусловленный нелинейным взаимодействием поверхностных волн. Обе задачи являются актуальными и представляют интерес как с точки зрения фундаментальной науки, так и с точки зрения многочисленных приложений.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка публикаций автора, списка литературы и приложений. Текст хорошо структурирован, дается наглядная физическая картина рассмотренных явлений.

Во введении представлена общая характеристика работы: обоснована актуальность темы исследования, перечислены поставленные задачи, сформулированы полученные результаты, показана их научная новизна и практическая значимость.

В первой главе в рамках уравнений Максвелла-Блоха автор исследует частоту генерации плазмонного нанолазера в зависимости от интенсивности внешней накачки. Поляризация активной среды нелинейным образом зависит от интенсивности излучения спазера, поэтому при изменении внешней накачки пространственная структура лазирующей дипольной моды деформируется, что приводит к изменению резонансного условия и смещению частоты генерации устройства. Автором разработана аналитическая схема, которая позволяет связать частоту генерации лазера со структурой пространственной моды – эффект появляется во втором порядке теории возмущений по параметру обратной добротности резонатора.

Вторая глава посвящена исследованию тепловых явлений в плазмонных наносистемах. Несложные оценки, основанные на законе Фурье, показывают, что в стационарном режиме металлическую наночастицу может населять всего несколькими квантами плазмонных колебаний – в противном случае она нагреется вплоть до температуры плавления. Эффект обусловлен низкой добротностью резонатора, которая определяется омическими потерями внутри металла, и усугубляется положительной обратной связью: с ростом температуры увеличивается электрон-фононное взаимодействие, что усиливает нагрев. Автор отмечает, что в применении к спазеру эти результаты приводят к необходимости пересмотра общепринятого механизма сужения спектральной линии устройства при переходе через порог генерации, поскольку вынужденное излучение не может доминировать в таких условиях. В импульсном режиме возбуждения плазмонные наносистемы удастся населить несколькими сотнями квантов – при превышении этого количества начинается разрушение наночастиц пондеромоторными силами.

В третьей главе автор ставит перед собой цель объяснить механизм сужения спектральной линии спазера. Для этого в рамках формализма матрицы плотности разрабатывается квантовая теория лазера в приближении низкодобротного резонатора. Получены выражения для корреляционных функций поля первого и второго порядков выше и ниже порога генерации, проведено их сравнение со случаем высокодобротного лазера. Оказывается, что в случае спазера, информация о когерентности системы хранится в состоянии активной



среды, которая релаксирует гораздо медленнее поля плазмонных колебаний (низкодобротный предел), поэтому вновь рождаемый активными молекулами плазмон может быть когерентен уже распавшемуся плазмону, что и приводит к сужению спектра. Полученные результаты позволяют глубже понять механизмы функционирования плазмонных нанолазеров.

Особенно интересны четвертая и пятая главы диссертации, посвященные исследованию механизма генерации вихрей на поверхности жидкости и в тонких смектических пленках. Ненулевая вязкость среды нарушает потенциальное приближение в описании поверхностных волн и приводит к поправкам поля скоростей, обладающим ненулевой завихренностью. В линейном приближении по амплитуде поверхностных волн завихренность направлена горизонтально. Вертикальная компонента появляется только во втором порядке и обусловлена взаимодействием поверхностных волн: горизонтальная завихренность слегка поворачивается за счет наклона поверхности. В работе получено явное выражение для вертикальной завихренности в терминах отклонения поверхности жидкости от положения равновесия. Теоретические предсказания находятся в согласии с экспериментальными данными.

В заключении приведены основные результаты диссертационной работы и намечаются пути возможных дальнейших исследований.

Рассматриваемая диссертационная работа является оригинальным, выполненным на высоком техническом и концептуальном уровне исследованием. Результаты, полученные в диссертации, вносят существенный вклад в понимание физики функционирования плазмонных нанолазеров и объясняют фундаментальный механизм генерации вихревых течений поверхностными волнами. Основные положения работы опубликованы в ведущих международных научных журналах. Автореферат правильно и полно отражает содержание диссертации.

Имеется, однако, несколько вопросов и замечаний.

1. Рассматривая в первой главе отклик активных молекул оболочки на электромагнитное поле, автор не учитывает т.н. эффектов действующего поля, т.е. отличия поля, действующего на отдельную молекулу, от среднего, при том, что резонансная поляризуемость молекул, входящая в формулу Клаузиуса-Моссотти для эффективной диэлектрической проницаемости, не мала. Следовало бы дать оценку поправок и возможности пренебречь ими.

2. В первой главе модель активной среды представляет собой ансамбль молекул со случайно ориентированными дипольными моментами перехода, а в третьей главе молекулы считаются идентичными - с одинаково направленными диполями. Для сопоставления полуклассического и квантового подходов имело бы, по-видимому, смысл рассмотреть сходные модели (простейший вариант - полуклассический анализ системы одинаково ориентированных молекул).

3. При рассмотрении дипольной плазмонной моды сферической наночастицы, не учитывается факт вырождения таких колебаний по проекции углового момента (т.е., по выбору оси смещения заряда). Насколько это обосновано?

4. В последней главе диссертации, при рассмотрении подвешенных смектических пленок, имело бы смысл привести ограничения на их размеры, позволяющие игнорировать гравитационные эффекты (в т.ч., кривизну пленки).

Отметим также желательность автопроверки орфографии при написании текста, дабы не было "резанатора" (дисс., стр 12), "органичения" (реф.) и т.п.

Отмеченные недостатки не подвергают сомнению достоверность и значимость полученных результатов и научную квалификацию диссертанта. Подводя итог, можно констатировать, что диссертационная работа Парфеньева В.М. «Нелинейные явления в плазмонике и гидродинамике: теория спазера и генерация завихренности поверхностными волнами» удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым ВАК к кандидатским диссертациям, а ее автор достоин присуждения степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 – теоретическая физика.

Отзыв на диссертацию был обсужден на заседании теоретического отдела Института спектроскопии РАН под руководством д.ф.-м.н. А.М. Камчатнова 19 сентября 2016 года.

Отзыв подготовили

Заведующий теоретическим отделом ИС РАН,

доктор физико-математических наук



А.М. Камчатнов

главный научный сотрудник,

доктор физико-математических наук



В.И. Юдсон

Подписи А.М. Камчатнова и В.И. Юдсона заверяю

Ученый секретарь Института спектроскопии РАН

к.ф.-м.н.



Е.Б. Перминов