

ОТЗЫВ

официального оппонента о диссертации В.М. Парфеньева “Нелинейные явления в плазмоне и гидродинамике: теория спазера и генерация завихренности поверхностными волнами”, представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 — “Теоретическая физика”

Постоянно возрастающий в последнее десятилетие научный интерес к исследованию спазеров (самых маленьких лазеров, резонатором которых служит плазменная мода металлической наночастицы) во многом определяется огромным потенциалом применения этих наноскопических объектов в биомедицине, создании сверхчувствительных сенсоров, а также оптических компьютеров. Теоретическое исследование физики спазеров тесно связано с экспериментальными продвижениями в этой быстро развивающейся области физики. Появившиеся в последние годы более подробные экспериментальные данные о режимах генерации, а также новые экспериментальные данные о частоте генерации и о ширине спектра потребовали углубленного теоретического анализа этой нетривиальной проблемы. В работе В.М. Парфеньева проведен теоретический анализ и численные расчеты, позволившие объяснить экспериментально наблюдаемый сдвиг частоты спазера, а также причину сужения линии генерации в квантовом пределе, когда число квантов поля в резонаторе меньше или порядка единицы. Проведенный анализ позволил автору диссертационной работы описать оптические и прочностные свойства спазера из первых принципов.

Во второй части диссертации построена теория генерации вихревого движения жидкости поверхностными волнами. Это необычное явление было открыто экспериментально совсем недавно и сразу вызвало большой научный интерес своей новизной в такой традиционной и хорошо изученной области, как гидродинамика. Восхищает сама идея природы генерации, оказалось что причиной возникновения вихрей является вязкость жидкости. В результате кропотливых и громоздких, но идейно понятных, вычислений во втором порядке теории возмущений по малости амплитуды поверхностных волн удалось количественно рассчитать величину вертикальной завихренности. Актуальность темы диссертации не вызывает сомнений.

Диссертация состоит из Введения и пяти глав. Во введении обоснована актуальность проблемы, сформулированы задачи диссертации и кратко проанализированы используемые модели и приближения. Первая глава диссертационной работы В.М. Парфеньева посвящена расчету по теории

возмущений поправок к дипольной лазерной моде спазера. Эти поправки возникают в результате неоднородного насыщения усиления (выжигания пространственной дыры), которое определяется из условия стационарности генерации (насыщенное усиление моды равно потерям энергии моды). Довольно громоздкий расчет поправок позволил вывести уравнение на сдвиг частоты генерации в зависимости от мощности накачки усиливающей среды. Численный расчет сдвига частоты на основе полученных выражений позволяет достоверно утверждать, что в отличие от других типов лазеров сдвиг частоты спазера может достигать уровня долей процентов и поэтому наблюдается в эксперименте. Кроме того, поскольку эффект возникает во втором порядке теории возмущений по параметру обратной добротности, то простая оценка при типичном значении добротности спазера 15 приводит к тому же утверждению.

Во второй главе проводится расчет температуры в непрерывном режиме генерации металлической наночастицы, создающей плазмонную моду спазера. Достаточно простые вычисления приводят к выводу, что непрерывный режим генерации может существовать только в квантовом пределе, когда число плазмонов в каждом спазере порядка единицы и меньше. При увеличении плазмонов больше критического возникает необратимый разогрев вследствие положительной обратной связи обусловленной температурной зависимостью электрон-фононного рассеяния. Что касается импульсного режима генерации, то здесь такого ограничения нет. В работе рассматривается предел разрушения наночастицы из-за пондеромоторных сил в пределе огромных полей, но это скорее всего экзотика. Полученные в этой главе результаты приводят к необходимости решать полностью квантовую задачу о непрерывном режиме лазерной генерации в спазере, чему и посвящена третья глава диссертации.

Основная проблема возникающая при рассмотрении генерации лазерного излучения спазера это сужение линии генерации выше порога. Известная теория Шавлова - Таунса о сужении линии здесь неприменима, поскольку она работает только при большом количестве квантов в излучении, а в спазере число плазмонов меньше порядка единицы. Автор диссертации рассмотрел проблему в квантовом случае и продемонстрировал хорошее владение методами квантовой теории поля. В результате громоздких но стандартных вычислений была вычислена парная корреляционная функция амплитуды поля (фурье образ спектральной функции), как ниже, так и выше порога генерации и найдена причина сужения линии - когерентиза-

ция двухуровневых систем активной среды спазера. Полученный результат позволяет глубже понять физику спазеров. В работе также рассмотрены квантовые флуктуации вокруг стационарного значения генерации. Вычислена двухвременная корреляционная функция четвертого порядка, фурье образ которой связан с радиочастотной спектральной функцией. Оказалось, что в системе имеются автоколебания, частота, затухание и амплитуда которых были вычислены в рамках квантовой теории. Впрочем наличие автоколебаний и значение их частоты следуют из макроскопических уравнений Блоха (3.9), (3.10), хотя их амплитуда может быть найдена только в квантовом подходе.

Исследованная в двух последних главах диссертации задача о генерации завихренности поверхностными волнами может быть отнесена к разряду классических задач гидродинамики. Этот эффект экспериментально открытый не так давно, вызывает удивление, что в такой изученной области физики оказывается можно найти новые яркие явления. Теоретический анализ задачи проведен на высоком уровне и может служить примером для подражания. Проведенное в диссертации сравнение пространственной картины завихренности сгенерированной двумя когерентными поверхностными волнами с экспериментальными данными для разных граничных условий дает убедительное согласие теории и эксперимента.

Автором диссертации продемонстрировано виртуозное владение математическим аппаратом современной теоретической физики. Диссертация написана ясным языком и хорошо структурирована, после ее прочтения остается четкая физическая картина рассмотренных явлений. Однако следует отметить некоторую небрежность в оформлении, которая несколько затрудняет чтение. В качестве примера можно привести дважды пропущенный квадрат постоянной Планка на странице 20 и знак дивергенции на странице 23 первой главы, произвольная смена греческих букв на латинские на рисунке 1.4, обозначение одной буквой D матрицы и коэффициента диффузии на страницах 50, 51 и т.д.

Оценивая работу в целом, следует констатировать, что диссертация В.М. Парфеньева представляет собой завершенное исследование, содержащее решение двух актуальных задач: расчета сдвига частоты и сужения линии генерации спазера, а также генерации завихренности поверхностными волнами на границе двух сред. Работа выполнена на высоком научном уровне и имеет важное значение не только с точки зрения фундаментальных исследований, но и для практических приложений. Продемонстриро-

ваны высокая квалификация автора и глубокое понимание роли различных физических процессов, определяющих работу спазеров.

Приведенные выше замечания носят частный характер и не влияют на общую положительную оценку. Работы В.М. Парфеньева, составляющие содержание диссертации, опубликованы в виде статей в ведущих физических журналах и хорошо известны специалистам. Автореферат правильно и полно отражает содержание диссертации. Работа В.М. Парфеньева полностью отвечает всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а сам автор безусловно заслуживает присуждения ему степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 — Теоретическая физика.

Главный научный сотрудник

Института автоматики и электрометрии СО РАН

д.ф.-м.н.



Подивиллов Евгений Вадимович

Адрес: 630090, проспект Академика Коптюга, д.1, г. Новосибирск

Телефон: +7 383 330 90 21

e-mail: podivilov@iae.nsk.su

Подпись д.ф.-м.н. Подивилова Евгения Вадимовича *з а в е р я ю*:

Директор ИАиЭ СО РАН

Академик

12.12.2016



Шалагин А.М.