

«УТВЕРЖДАЮ»

И. о. проректора
по научной работе СПбГУ
С.В. Микущев

« 01 » декабря 2015 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации СПбГУ на диссертацию
Солихова Давлата Куватовича
“ТЕОРИЯ РАССЕЙЯНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН В ПЛАЗМЕ В ПОЛЕ
ДВУМЕРНО ЛОКАЛИЗОВАННОЙ ВОЛНЫ НАКАЧКИ”,
представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических
наук
по специальности 01.04.02 – теоретическая физика

Диссертационная работа Солихова Давлата Куватовича посвящена разработке теории спонтанного и вынужденного рассеяния электромагнитных волн в плазме: линейной теории процессов спонтанного рассеяния в поле немонохроматической волны накачки, вынужденного комбинационного рассеяния в поле локализованной волны накачки при произвольных угла рассеяния, теории вынужденного рассеяния Мандельштама-Бриллюэна (ВРМБ) в однородной и неоднородной плазме при учете нелинейности возбуждаемых звуковых волн (в приближении их сильной диссипации) и истощения волны накачки.

Воздействие сильного электромагнитного поля на плазму приводит к разнообразным нелинейным процессам, вызывающим аномальный нагрев и ускорение частиц, генерацию гармоник и спонтанных магнитных полей и т.д. При этом нелинейное рассеяние, при котором интенсивность рассеянного излучения нелинейным образом зависит от интенсивности падающего излучения, является одним из наиболее важных и интересных явлений, определяющих, в частности, трудности в решении проблемы лазерного управляемого термоядерного синтеза. Важным шагом в решении этих проблем является построение теории, которая включает в себя более полный учет всех факторов – ограниченности области взаимодействия волн, неоднородности плазмы, нелинейности возмущений, создаваемых волной накачки, что способствует поискам методов подавления возникающих неустойчивостей. По этой причине развитие исследований вынужденного и спонтанного рассеяния в поле немонохроматической волны накачки определяет несомненную актуальность представленной работы.

Диссертационная работа Солихова Давлата Куватовича состоит из введения, шести глав, основных результатов и выводов и списка цитируемой литературы (228 наименований). Полный объем диссертации с учётом 46 иллюстраций составляет 223 стандартные печатные страницы.

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель работы и основные решаемые задачи. Отражена научная новизна и практическая значимость результатов исследования, выносимых на защиту.

В первой главе приведен краткий обзор теоретических и экспериментальных работ,

соответствующих теме диссертации.

Во второй главе рассмотрено спонтанное рассеяние некогерентного излучения. Получено общее выражение для сечения рассеяния некогерентного излучения на флуктуациях диэлектрической проницаемости в материальной среде и рассмотрены частные случаи с его использованием: случай лоренцевской формы линии падающего излучения, эволюция спектра при рассеянии «назад» при изменении ширины линии падающего излучения, условия, при которых возможно разрешение в спектре линий комбинационного рассеяния на ленгмюровских и ионно-звуковых волнах, возможность уменьшения эффекта некогерентности путем подбора угла наблюдения.

В третьей главе рассмотрено вынужденное комбинационное рассеяние в поле волны накачки, локализованной в пространстве в двух направлениях при произвольных углах рассеяния. В такой геометрии вдоль одного из направлений знаки проекций групповых скоростей взаимодействующих волн противоположны. Показано, что это, однако, не приводит к абсолютной неустойчивости ни при каких размерах области локализации волны накачки. Выведена система укороченных уравнений, описывающих стационарное вынужденное рассеяние света в поле двумерно локализованной волны накачки. Определены пороги и коэффициенты усиления и исследованы их угловые зависимости. Показано, что в пределе слабого затухания волн порог неустойчивости определяется размером области локализации в поперечном направлении к направлению распространения волны накачки. Рассчитана пространственная структура амплитуд взаимодействующих волн при малом и большом превышении порога и показано, что амплитуды нарастающих волн внутри области взаимодействия могут значительно превышать их амплитуды на выходе из области. Получено точное решение системы укороченных уравнений в допороговой области параметров и детально исследованы пространственные зависимости амплитуд волн при двумерной локализации волны накачки. В приближении сильной диссипации ионно-звуковых волн получено точное решение системы укороченных уравнений.

Четвёртая глава диссертации посвящена исследованию угловой зависимости интенсивности рассеянного излучения для попутных взаимодействующих волн, когда проекции групповых скоростей вдоль направления распространения волны накачки имеют одинаковые знаки. Получены и численно проанализированы аналитические выражения для интенсивности рассеянного излучения при малом и большом превышении порога, а также выражения для интенсивности рассеянного излучения в допороговой области параметров и приближении сильной диссипации ионно-звуковых волн.

В пятой главе приводятся результаты по исследованию вынужденного комбинационного рассеяния для встречных взаимодействующих волн в поле волны накачки, локализованной в пространстве в двух направлениях при углах рассеяния, изменяющихся в пределе $0 \leq \theta \leq \pi$. В такой геометрии проекции групповых скоростей взаимодействующих волн имеют противоположные знаки. Доказано, что это, однако не приводит к абсолютной неустойчивости ни при каких размерах области локализации волны накачки. Найдено точное решение соответствующих система укороченных уравнений для амплитуд взаимодействующих волн и исследована их пространственная зависимость при произвольных углах рассеяния, размерах области локализации волны накачки, диссипации взаимодействующих волн и интенсивности волны накачки.

Шестая глава посвящена исследованию влияния нелинейности звуковых волн и истощения волны накачки на процесс вынужденного рассеяния Манделъштама-Бриллюэна в плазме. С помощью уравнений гидродинамики и уравнений Максвелла выведены уравнения для амплитуд падающей, рассеянной волн, а также первой и второй гармоник звуковых волн. Показано, что в приближении достаточно сильного затухания звуковых волн в однородной плазме учет второй гармоники приводит к насыщению рассеяния на уровне нелинейного порога. В неоднородной плазме при учете второй гармоники интенсивность рассеяния возрастает. Это связано с тем, что ширина области резонансного взаимодействия волн пропорциональна затуханию звука. Увеличение затухания звука из-за генерации второй гармоники увеличивает размер этой области и приводит к взаимодействию волн в более широкой области. Процесс ВРМБ в однородной плазме рассмотрен также с учетом генерации второй гармоники звуковой волны и истощения волны накачки. Показано, что в рассматриваемой модели, когда звук является сильнозатухающим, учет генерации второй гармоники звуковой волны и изменение амплитуды падающей волны снижают коэффициент отражения по сравнению с его значением в линейной теории ВРМБ. Вблизи порога неустойчивости исследован процесс развития ВРМБ со временем при учете нелинейности возбуждаемых звуковых волн. Показано, что рассеяние может иметь осциллирующий характер, причем с увеличением интенсивности волны накачки амплитуда осцилляций возрастает, а период уменьшается.

К наиболее значимым результатам, полученным в диссертации и имеющим несомненную научную новизну, можно отнести следующие:

- получено общее выражение для сечения рассеяния немонахроматического излучения на флуктуациях диэлектрической проницаемости в материальной среде и на его основе проанализировано общее выражение для дифференциального сечения рассеяния немонахроматического излучения на ионно-звуковых и ленгмюровских волнах в плазме; определены условия, при которых можно исключить немонахроматичность зондирующего излучения;
- исследован процесс ВРМБ в поле волны накачки, локализованной в пространстве в двух направлениях при произвольных углах рассеяния для попутных взаимодействующих волн; показано, что порог конвективной неустойчивости падает, а коэффициент усиления волн растет с увеличением угла рассеяния; получены и проанализированы точные решения задачи о рассеянии в допороговой области;
- получена и исследована угловая зависимость интенсивности рассеянного излучения при небольшом и значительном превышении порога при различных соотношениях размеров области локализации волны накачки;
- доказано, что в рамках учета параметрической связи только двух волн в поле волны накачки, локализованной в двух направлениях, для рассеяния под произвольным углом и встречных взаимодействующих волн отсутствует абсолютная неустойчивость;
- исследовано ВРМБ в поле волны накачки, локализованной в пространстве в двух направлениях, при углах рассеяния в интервале от $\pi/2$ до π для встречных взаимодействующих волн; определены решения соответствующих систем уравнений и проведены численные расчеты для амплитуд взаимодействующих волн, когда проекции их групповых скоростей имеют противоположные знаки;
- исследована угловая зависимость интенсивности рассеянного излучения для встречных взаимодействующих волн при небольшом и значительном превышении порога, а также в приближении сильной диссипации ионно-звуковых волн при различных соотношениях размеров области локализации волны накачки; показано, что рассеяние максимально для строго встречного рассеяния;
- в приближении сильной диссипации звуковых волн исследовано ВРМБ в

однородной и неоднородной плазме при учете генерации второй гармоники звуковой волны и истощения волны накачки;

- рассмотрен процесс ВРМБ в однородной плазме с учетом нелинейности возбуждаемых звуковых волн и истощения волны накачки; показано, что одновременный учет двух нелинейных эффектов снижает коэффициент отражения по сравнению с его значением в линейной теории;

- вблизи порога неустойчивости исследован процесс развития ВРМБ во времени при учете нелинейности возбуждаемых звуковых волн; показано, что рассеяние может иметь осциллирующий характер, причем с увеличением интенсивности волны накачки амплитуда осцилляций возрастает, а период уменьшается.

Несомненным достижением автора является, с нашей точки зрения, вывод общего выражения для сечения рассеяния некогерентного излучения на флуктуациях диэлектрической проницаемости в материальной среде, которое затем используется для анализа и расчетов конкретных физических ситуаций.

По диссертации имеются некоторые замечания.

1. На стр. 169 проводится сравнение коэффициента отражения (формула (6.2.11)) с экспериментальными значениями. Отмечается, что теоретическая оценка по формуле (6.2.11) завышена. На наш взгляд для этого случая в коэффициенте отражения следует учесть конечность области взаимодействия (использовав, например, ф. (6.2.9)), что, возможно, снизит теоретическую оценку коэффициента усиления.

2. Во второй главе рассмотрена линейная стадия спонтанного рассеяния в поле некогерентной волны накачки. Многие аналитические результаты остальных глав даны в приближении заданной плоской когерентной волны накачки. На наш взгляд их следует обобщить и на случай некогерентной накачки.

3. При переходе от уравнения (6.1.8) и (6.1.9) для звука и второй гармоники к уравнениям (6.1.12) и (6.1.13) сделано предположение о стационарности амплитуд. Следовало бы обосновать такое предположение.

Высказанные замечания не умаляют в целом научной ценности, теоретической и практической значимости диссертационного исследования и не влияют на общую положительную оценку работы.

Результаты диссертационной работы Солихова Д.К. могут быть использованы в научных учреждениях, где ведутся теоретические и экспериментальные исследования по физике и химии плазмы. Среди них можно отметить такие организации, как Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Санкт-Петербургский государственный университет, Казанский федеральный университет, Таджикский национальный университет (г. Душанбе), Ивановский химико-технологический университет (г. Иваново), Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе (г. Санкт-Петербург), Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт» (г. Москва), Физический институт им. П. Н. Лебедева РАН (г. Москва), ОИЯИ (г. Дубна), Институт общей физики им. А. М. Прохорова РАН (г. Москва), Объединенный институт высоких температур РАН (г. Москва), Физико-технический институт им. С. У. Умарова АН РТ (г. Душанбе). Результаты работы могут быть использованы при чтении спецкурсов по физике и химии плазмы в высших учебных заведениях.

Результаты исследований отражены в 20 публикациях в ведущих профильных научных журналах, рекомендованных ВАК РФ, многократно докладывались на республиканских и международных конференциях. Автореферат полностью отражает

материал диссертации.

В целом диссертационная работа Солихова Давлата Куватовича на тему «Теория рассеяния электромагнитных волн в плазме в поле двумерно локализованной волны накачки» является законченным научным трудом, в котором разработаны теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение.

По своему объёму, актуальности, научной новизне и практической значимости полученных результатов диссертационная работа Солихова Давлата Куватовича на тему «Теория рассеяния электромагнитных волн в плазме в поле двумерно локализованной волны накачки» полностью отвечает требованиям пунктов 9-14 «Положения о порядке присуждения учёных степеней» ВАК РФ, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, а ее автор, Солихов Давлат Куватович, заслуживает присуждения ему искомой учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.02- теоретическая физика.

Отзыв составлен заведующим кафедрой оптики Санкт-Петербургского государственного университета профессором Н. А. Тимофеевым и заведующим лабораторией физики плазмы кафедры оптики профессором Ю. Б. Голубовским.

Отзыв обсуждался и был одобрен на заседании кафедры оптики СПбГУ 20 ноября 2015 г.

23 ноября 2015 г.

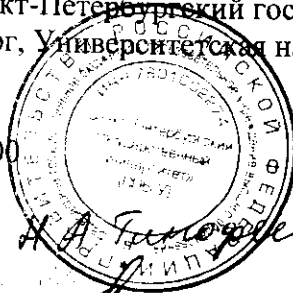
Заведующий кафедрой оптики
Санкт-Петербургского
государственного университета,
доктор физ.-мат. наук, профессор
Телефоны: раб. +7 812 428 4484, моб. +7 9117041211
E-mail: n.timofeev@spbu.ru niktimof@yandex.ru

Н. А. Тимофеев

Заведующий лабораторией физики плазмы
кафедры оптики
Санкт-Петербургского
государственного университета,
доктор физ.-мат. наук, профессор
E-mail: yu_golubovski@yahoo.com

Ю. Б. Голубовский

Адрес ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет»:
199034, Санкт-Петербург, Университетская наб. д.7-9
web-сайт: <http://spbu.ru/>
e-mail: spbu@spbu.ru
Телефон: +7 812 328 2000



Н. А. Тимофеев
30.11.2015

Ю. Б. Голубовский
30.11.2015

