

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор

Института теоретической

физики им. Л.Д. Ландау РАН,

чл.-корр. РАН

И.В. Колоколов



ВЫПИСКА

из протокола заседания Сектора физики неравновесных состояний

Института теоретической физики им. Л.Д. Ландау РАН

24 июня 2026 года

(Заключение о диссертации Короткевича А.О.

«Моделирование нелинейных волн в задачах теоретической физики»

по месту её выполнения)

СЛУШАЛИ: Доклад Короткевича А.О. по диссертации «Моделирование нелинейных волн в задачах теоретической физики», представленной на соискание учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.3 – «Теоретическая физика».

ПОСТАНОВИЛИ: Принять следующее заключение о диссертации Короткевича А.О. «Моделирование нелинейных волн в задачах теоретической физики».

В диссертационной работе Короткевича А.О. изучаются, развиваются и применяются к задачам теоретической физики методы теории нелинейных волн с последующим применением результатов к прикладным задачам, объяснению и дизайну экспериментов.

Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения, списка литературы и 4 приложений. Полный объём диссертации составляет 370 страниц, включая 143 рисунка и 3 таблицы. Список литературы содержит 369 наименований.

Во введении обоснована актуальность исследований, проведённых в рамках диссертации, приведён обзор литературы по изучаемой проблеме, сформулирована цель и поставлены задачи работы, обоснована научная новизна и практическая значимость произведённых исследований.

Первая глава посвящена простейшим подходам в моделировании нелинейных волн, которые, тем не менее, позволяют эффективно решать некоторые актуальные и практически важные задачи. В частности, в разделе 1.1 рассматривается задача о связи с гиперзвуковым аппаратом при вхождении в плотные слои атмосферы, окружённым плазменным облаком. Нелинейное

взаимодействие электромагнитных волн в плазме моделируется посредством последовательного решения линейных задач. Для этого используется разница в амплитудах различных волн и соответственно приближение слабости их взаимного влияния. К примеру, при рассмотрении проблемы связи с гиперзвуковым аппаратом посредством электромагнитных волн на частоте существенно ниже плазменной, для которых плазменное облако является отражающим, сначала в рамках модифицированного уравнения Гинзбурга численно решается краевая задача для получения зависимости падающего поля от координаты. Далее полученный профиль поля вместе с полем мощного пробного сигнала (волны накачки), испускаемого гиперзвуковым аппаратом на частоте выше плазменной, используется как входные данные для вычисления нелинейного тока, выступающего вынуждающей силой в уравнении Гинзбурга и генерирующего волну на разностной частоте, распространяющуюся к аппарату. При достаточно высокой частоте пробного сигнала, частота этой волны выше плазменной и плазма для неё прозрачна. Можно интерпретировать данный процесс и по-другому: находятся слабые возмущения профиля плотности плазмы из-за приходящего низкочастотного сигнала, после чего моделируется рассеяние назад мощного пробного сигнала, испускаемого гиперзвуковым аппаратом на частоте выше плазменной, на этих возмущениях в рамках того же уравнения Гинзбурга с правой частью, включающей нелинейный ток, описывающий возмущения плотности. Выполнены аналитические приближённые расчёты и показано хорошее соответствие с ними результатов численного моделирования для ограниченного набора параметров. Произведена оценка осуществимости данного способа связи с использованием современных устройств (приёмников, антенн и генераторов мощного микроволнового излучения), доступных на рынке. Продемонстрирована реализуемость данного подхода с существенным запасом по параметрам. Такой же нелинейный процесс взаимодействия волн в плазменном слое использован и для исследования возможности посылки электромагнитного сигнала от гиперзвукового тела на приёмник вне плазменного слоя, работающий на частоте ниже плазменной.

Таким образом, автором совместно с соавторами, используя нелинейные свойства плазмы, окружающей гиперзвуковое тело при движении в плотных слоях атмосферы, путём аналитических оценок, подтверждённых численным моделированием, показана реализуемость решения т.н. проблемы блэкаута -- отсутствия связи в течение нескольких минут с, например, космическим кораблём при входе в плотные слои атмосферы и окружённым слоем плазмы.

В разделе 1.2 рассматривается задача одновременного распространения двух магнитостатических спиновых волн в намагниченной до насыщения тонкой ферромагнитной плёнке железо-иттриевого граната. Известно, что одна поверхностная магнитостатическая спиновая волна в железо-иттриевом гранате модуляционно устойчива. Однако в эксперименте при одновременном распространении двух таких волн на близких частотах наблюдалась модуляционная неустойчивость, вызванная эффектом фазовой кросс-модуляции. Для построения теории фазовой кросс-модуляции магнитостатических спиновых волн в железо-иттриевом гранате была выведена из первых принципов первая нелинейная поправка к линейной дисперсии. Используя разложение данной дисперсионной зависимости в ряд Тейлора, получена система уравнений, описывающая динамику связанных магнитостатических спиновых волн. Данные уравнения исследованы на модуляционную неустойчивость, обусловленную фазовой кросс-модуляцией, используя стандартные методы анализа, аналогичные применяемым, к примеру, в оптике. Получено условие на параметры, при выполнении которого поверхностные магнитостатические спиновые волны при одновременном распространении становятся модуляционно неустойчивыми. Полученные результаты позволили автору совместно с соавтором впервые дать аналитическое объяснение вышеупомянутому экспериментальному данным.

В разделе 1.3 «Заключение» подводятся итоги этой части исследования.

Вторая глава использует один из стандартных подходов в моделировании нелинейных волн, а именно приближение огибающей. Для многих задач оптики и физики плазмы, длина волны несущей много меньше характерного масштаба модуляции её амплитуды. В такой ситуации т.н. «приближение огибающей», а именно описание динамики огибающей функции амплитуды сигнала, абстрагируясь от высокочастотной несущей, может быть чрезвычайно эффективным. В разделах 2.1-2.2 рассматриваются две задачи, связанные с распространением света в метаматериалах с отрицательным показателем преломления. Современные метаматериалы высокочувствительны как к поляризации света, так и к частоте. Для одной поляризации или частоты выполняется условие резонанса для внутренней структуры метаматериала и, как результат, теоретически может реализовываться отрицательный показатель преломления, в то время как для другой поляризации или частоты условия резонанса нарушаются, и эффективный показатель преломления среды остаётся положительным. Таким образом, в среде есть две взаимодействующих волны, распространяющиеся в противоположных направлениях. Далее рассмотрены конкретные случаи.

В разделе 2.1 исследуется случай Брэгговской решётки, образованной периодическими слоями с нелинейной средой. Примерами образующих такие слои материалов могут рассматриваться металлические сферические наночастицы, дающие нелинейный отклик на нужной частоте. Данная система в приближении огибающей амплитуды и слабой нелинейности описывается модификацией модели Максвелла-Даффинга для волн, распространяющихся в противоположных направлениях. С участием автора показано, что приведённая система имеет аналитическое решение в виде уединённой волны, распространяющейся с постоянной скоростью без изменения формы. Численное моделирование системы позволило продемонстрировать, что данное решение является аттрактором. Реалистичное граничное условие в виде входящего с одного из краёв Брэгговской решётки импульса, имеющего форму гауссианы с относительно простым фазовым профилем, привело к формированию уединённой волны и сбросу части граничного условия в виде волн малой амплитуды. Продемонстрирован захват поля, распространяющегося в направлении обратном движению импульса, через поляризацию.

Таким образом, получено аналитически и исследовано численно решение в виде уединённой волны. Показано, что решение является притягивающим и при часто используемой форме входного импульса с реализуемой зависимостью фазы от времени происходит формирование решения, близкого к уединённой волне, которое распространяется без видимого изменения формы. Т.е. наблюдается эффект, подобный самоиндуцированной прозрачности.

Следующая задача, демонстрирующая применение метода огибающей амплитуды для нелинейных систем, связана с распространением оптического сигнала в активных средах и представлена в разделе 2.2. Дело в том, что большая часть предлагаемых и реализуемых сейчас метаматериалов, которые демонстрируют эффект обгона фазы (при большой оптической толщине соответствующий отрицательному показателю преломления), основываются на использовании плазмонных структур, которые дают существенную диссипацию оптического сигнала. Для компенсации этих потерь предлагается использовать активную среду, где внешним источником формируется инверсная заселённость, а при прохождении полезного сигнала она работает как усилитель. С учётом того, что разные частоты и поляризации по-разному взаимодействуют со структурой метаматериала, а именно для одной частоты или поляризации возможно иметь резонанс структуры и отрицательный показатель преломления, а для другой среда имеет обычные оптические свойства, надо использовать систему уравнений для полей, распространяющихся в противоположные стороны и связанных через взаимодействие со средой. В данном разделе рассматривается Λ -конфигурация трёхуровневой активной среды (один верхний уровень и два нижних, соответствующих либо разным частотам перехода, либо разным поляризациям) и соответствующая модификация модели Максвелла-Блоха. Автором проведено численное моделирование с различными граничными условиями, проведём анализ полученных результатов. Таким образом, построена модель и численно

продемонстрировано распространение света в активной среде с отрицательным и положительным эффективными показателями преломления.

Завершающим главу 2 примером, демонстрирующим применение метода огибающей амплитуды, является представленное в разделе 2.3 моделирование вынужденного рассеяния Манделштамма-Бриллюэна в плазме, характерной для установки лазерного управляемого термоядерного синтеза NIF (National Ignition Facility в Ливерморской национальной лаборатории США). Чтобы избежать явления самофокусировки и «разбрызгивания» лазерного пучка, его специальным образом разбивают на множество пучков, которые имеют конечное время когерентности. При этом излучение в плазме разбивается на т.н. «спеклы» – небольшие области высокой интенсивности. Коллегами автора была предложена теория т.н. коллективной или конвективной неустойчивости, учитывающей взаимодействие спеклов в приближении малого по сравнению с длиной когерентности размера спекла. Надо отметить, что эта неустойчивость имеет порог по интенсивности, в отличие от ветви, получаемой из приближения случайной фазы. С целью проверки применимости использованных приближений и исследования взаимодействия различных ветвей неустойчивости, было необходимо выполнить численное моделирование распространения лазерного излучения в плазме, дефазированного пространственно и во времени (с целью уменьшения когерентности) определённым образом, в присутствии звуковой волны. Показано, что пространственный инкремент неустойчивости, полученный из стохастического моделирования, сравнительно хорошо описывается суммой инкрементов двух ветвей. Продемонстрирован пороговый характер коллективной неустойчивости, причём значение порога хорошо соответствует аналитической оценке. При времени когерентности стремящемся к нулю значение инкремента сходится с теорией получаемой из приближения случайной фазы. Полученный результат демонстрирует существование новой ветви коллективной неустойчивости и заметно более высокие значения усиления отражённого назад в результате вынужденного рассеяния Манделштамма-Бриллюэна излучения. Т.к. попадание существенной доли сверхмощного излучения обратно в оптическую систему чревато её разрушением, предложены меры по уменьшению инкремента.

В разделе 2.4 «Заключение» подведены итоги этой главы.

В третьей главе рассматривается подход к моделированию волн на поверхности потенциального течения глубокой двумерной несжимаемой жидкости. Двумерность позволяет использовать всю мощь ТФКП, включая конформные отображения, и работать в рамках полных уравнений, аналогичных уравнению Эйлера. Впервые конформные отображения для задач двумерной гидродинамики использовал ещё Стокс. В цикле работ, представленном в разделе 3.1, автором совместно с коллегами, были вычислены с высокой точностью волны Стокса в широком диапазоне уровня нелинейности и опубликованы для использования сообществом в виде высокоточных аппроксимаций Паде. Используя эти результаты, удалось уточнить крутизну, т.е. нормированный на длину волны размах (разница между самой высокой и самой глубокой точками) предельной волны Стокса, при которой происходит формирование особенности (угла 120 градусов) на гребне. Разница между этим значением и максимальной крутизной вычисленной волны составляла тысячные доли процента.

Позже, используя данную библиотеку волн Стокса, была численно исследована супергармоническая (относительно возмущений с длиной волны меньше, чем длина самой волны Стокса) неустойчивость. Данные результаты представлены в разделе 3.2. Многие характеристики волны Стокса, например, энергия или скорость, ведут себя как осциллирующие функции крутизны и каждый экстремум энергии даёт появление новой ветви неустойчивости. Впервые удалось подробно исследовать вторую ветвь неустойчивости волны Стокса, достичь и исследовать третью ветвь неустойчивости. Продемонстрирован механизм появления новых ветвей неустойчивости как движение чисто мнимых собственных значений (инкрементов неустойчивости) в комплексной плоскости к началу координат и выход на действительную ось. Используя вычисленные инкременты неустойчивости, удалось

предложить для них универсальные феноменологические зависимости, работающие для всех ветвей супергармонической неустойчивости волны Стокса в двух пределах: вблизи порога появления ветви и вдали от него. Также в опубликована уточнённая оценка крутизны предельной волны Стокса.

В разделе 3.3 «Заключение» подводятся итоги этой части исследования.

В четвертой главе используется и исследуется описание волн на поверхности трёхмерной жидкости в рамках слабонелинейного подхода. Всё так же рассматривается потенциальное течение несжимаемой глубокой жидкости, но в более общем случае трёхмерной жидкости невозможно использовать методы ТФКП и поэтому приходится использовать разложение по малой средней крутизне, которая в большинстве практически важных случаев имеет порядок 0,1. Переход к таким слабонелинейным уравнениям позволяет выделить т.н. резонансные процессы взаимодействия волн, дающие наибольший вклад на больших временах. Для трёхволновых взаимодействий главенствующим является процесс, соответствующий распаду одной волны на две или слиянию двух волн в одну. Такое взаимодействие подчиняется резонансным условиям. Раздел 4.1 посвящён рассмотрению одного из примеров четырёхволнового резонансного процесса, универсального для всех изотропных систем, каковым является неустойчивость стоячей волны, задаваемой двумя плоскими волнами с противоположными волновыми векторами. Показано, что резонансной кривой для данного процесса является кольцо в пространстве волновых векторов с центром в начале координат, проходящее через оба волновых вектора стоячей волны. Этот процесс исследован численно и построена его аналитическая теория. Исследованы важные примеры кольцевой неустойчивости для капиллярной и гравитационной стоячих волн.

В случае гравитационных волн, согласно теории волновой турбулентности должен реализовываться так называемый «обратный каскад» (подробнее он рассмотрен в главе 5), соответствующий потоку волнового действия или числа возбуждений от малых масштабов к большим. Однако эти результаты основываются на допущении, что главными являются резонансные процессы взаимодействия волн. Как было отмечено выше, дискретность сетки волновых векторов в случае периодических граничных условий или бассейна конечного размера приводит к затруднению в реализации резонансного условия по частотам, которое преодолевается повышением нелинейности в системе и, таким образом, уширению резонансной кривой. Однако хорошо известно, что коэффициент нелинейного взаимодействия для гравитационных волн ведёт себя как куб модуля волнового вектора, следовательно быстро убывает при его уменьшении. Т.е. нелинейные взаимодействия постепенно «выключаются» при выходе на большие масштабы, сравнимые с характерным размером области. Однако в пространстве волновых векторов есть поток волнового действия, который приносит волновое действие в большие масштабы. Начиная с некоторого масштаба, определяемого средним уровнем нелинейности в системе, этот поток не может распространяться дальше большие масштабы. Таким образом происходит накопление волнового действия или возбуждений на этом масштабе. Данный процесс, впервые обнаруженный и описанный автором для гравитационных волн (подробнее описан в главе 5), называется «конденсацией» по аналогии с Бозе-Эйнштейновской конденсацией в квантовой статистике. Однако в данном случае длинноволновый фон или «конденсат» накапливается при конечных масштабах. Было необходимо исследовать влияние этого нового явления на поведение системы. Эти работы представлены в разделе 4.2. Сначала исследовано влияние наличия конденсата на эффективный дисперсионный закон гравитационных волн. Для этого моделировалась изотропная волновая турбулентность с накачкой, отслеживалось накопление конденсата в системе, после чего записывались отдельные гармоники в виде временных рядов с последующим вычислением Фурье образа как функции частоты. В случае чисто линейной системы для гармоники в спектре должна наблюдаться единственная линия на соответствующей частоте линейной дисперсии с шириной порядка обратного времени накопления временного ряда. Слабая нелинейность приводит к умеренному уширению линии

и небольшому сдвигу в область меньших масштабов, известному как нелинейный сдвиг частоты. При наличии конденсата в области, соответствующей обратному каскаду (умеренно малые масштабы), ширина линии становится сравнимой с расстоянием до боковых полос, а сами боковые полосы сравнимы по амплитуде с пиком, соответствующим линейной частоте, а это значит, что для этих масштабов линейный закон дисперсии является плохим приближением и необходимо строить теорию взаимодействия спектра с конденсатом. После этого установлено, как меняется ширина линии в области прямого каскада при наличии конденсата, после того, как подавлен только конденсат и после подавления и конденсата, и обратного каскада. Показано, что как минимум данное приближение (малая ширина линии) удовлетворительно выполняется для прямого каскада уже после подавления только конденсата и не выполняется с конденсатом. Это означает, что для прямого каскада также надо учитывать взаимодействие с конденсатом и реализуемость стационарных решений кинетического уравнения (спектры Колмогорова-Захарова) в такой ситуации находится под вопросом.

В разделе 4.3 исследовалась через прямое численное моделирование зависимость затухания волнового спектра от крутизны (меры нелинейности) при смещении в область длинных волн. Моделировалась затухающая турбулентность для некоторого начального спектра и вычислялась функция затухания, которая сравнивалась с функциями, используемыми в некоторых моделях ветрового волнения. Для верификации моделирования слабонелинейных уравнений в трёхмерном случае коллегами было произведено моделирование в полных двумерных уравнениях, описанных в предыдущей главе, с количественным совпадением в рассматриваемом диапазоне крутизн. Таким образом, было показано, что как минимум в некоторых моделях ветрового волнения затухание, вызванное образованием пены на гребнях волн, переоценивается кратно, что ведёт к неминуемым проблемам с физической моделью.

При исследовании динамики сдвига спектрального пика в область больших масштабов, представленном в разделе 4.4, был обнаружен новый режим волновой турбулентности в конечных системах – мезоскопическая турбулентность, являющаяся промежуточным состоянием между преимущественно почти линейными волнами (аналогия с заквантованной системой) и режимом, хорошо описываемым кинетическим уравнением для гравитационных волн (уравнение Хассельманна) (большое количество взаимодействующих гармоник, аналогия с квантовой жидкостью). В данном режиме сохраняется качественное соответствие детерминистического описания в рамках динамических уравнений и статистического описания в рамках уравнения Хассельманна. Наблюдался сдвиг спектрального максимума в сторону больших масштабов и формирование хвоста распределения, близкого к спектру Захарова-Филоненко прямого каскада гравитационных волн, однако скорость движения спектрального пика и убывание интегральных параметров системы происходили не по законам, следующим из кинетического уравнения Хассельманна. Объяснением этому было наличие значительного количества гармоник в спектральном пике, но слишком низком для формирования достаточного статистического ансамбля. Причиной являлось усиливающееся упоминавшееся выше влияние дискретности сетки волновых векторов при смещении спектра в большие масштабы.

В разделе 4.5 «Заключение» подведены итоги этой главы.

В заключительной пятой главе диссертации применяется статистическое описание нелинейных процессов в волновых системах в рамках кинетического уравнения и исследуются границы его применимости. В данной главе в основном рассматривается вопрос верификации кинетического уравнения для четырёхволнового процесса «два в два», в случае гравитационных волн на поверхности жидкости называемого уравнением Хассельманна. Данное кинетическое уравнение и его модификации являются основой для всех моделей предсказания ветрового волнения. Данное уравнение имеет ряд точных стационарных решений, из которых важнейшими являются решения с постоянным потоком, описывающие состояние динамического равновесия.

Прежде чем переходить к более сложному уравнению Хассельманна, в разделе 5.1 рассматривается случай одномерного дефокусирующего нелинейного уравнения Шрёдингера пятой степени, где нелинейный процесс шестиволновой, а именно рассеяние «три в три». В работе автора и коллег удалось, для такой системы, вывести критерии применимости описания волнового поля непрерывным кинетическим уравнением для волн, в сравнении с усреднённым по 1000 реализаций начальных условий автокоррелятору поля, которое моделировалось в периодических граничных условиях по координате. Показано, что даже при небольшом нарушении порога применимости количественное совпадение результатов моделирования перестаёт иметь место.

Прямое сравнение моделирования гравитационных волн в слабонелинейных динамических уравнениях и кинетическом уравнении Хассельманна предпринято в разделе 5.2. При изначально гладком по амплитуде начальном условии, на сетке с высоким разрешением в направлении преимущественного движения волн, был продемонстрирован сдвиг в область больших масштабов, имеющий место и в реальных морях и океанах, со стохастизацией модулей амплитуд к ансамблю с распределением, близким к гауссову. Также было продемонстрировано, что для данных из динамических уравнений, в распределениях вероятностей значений градиентов и амплитуд отклонений жидкости от положения равновесия появляются заметные негауссовы хвосты, что означает сосуществование слабой и сильной волновой турбулентности. Коллегам, занимавшимся моделированием в рамках уравнения Хассельманна, удалось подобрать новую форму феноменологического диссипативного члена, который дал хорошее согласие с вычислениями автора в рамках динамических уравнений.

В разделе 5.3 для верификации уравнения Хассельманна использован другой, менее прямой подход через проверку существования решений кинетического уравнения, а именно спектров Колмогорова-Захарова, при моделировании в рамках динамических уравнений. В данном разделе на сетках от 128×128 до 1024×1024 точек моделировалась изотропная турбулентность с накачкой. Было получено формирование обоих каскадов (прямого и обратного) с появлением конденсата. Было предложено объяснение отклонению спектра прямого каскада от значений, полученных в других экспериментах, посредством механизма прямого влияния конденсата и обратного каскада, отсутствовавших в предыдущих экспериментах, на прямой каскад. Показано, что после искусственного подавления конденсата и большей части обратного каскада спектр прямого каскада вернулся к наклону, близкому к предсказываемому теорией волновой турбулентности. Таким образом, опять подтверждена применимость уравнения Хассельманна к описанию гравитационных волн как минимум при выполнении некоторых условий.

Завершает главу 5 раздел 5.4, где в рамках динамических уравнений произведено моделирование изотропной турбулентности гравитационных волн с формированием обратного каскада в широком динамическом диапазоне, позволяющем определить наклон спектра. Формирование обратного каскада – исключительно медленный процесс, поэтому наблюдение обратного каскада в существенном динамическом диапазоне является гораздо большим вызовом по сравнению с моделированием прямого каскада гравитационных волн. Ожидаемо наблюдалось и формирование конденсата. В результате моделирования с четырьмя различными уровнями накачки, покрывающими большую часть диапазона уровней нелинейности (крутизны), релевантного для реализуемости нелинейных взаимодействий волн, обнаружен новый универсальный спектр обратного каскада в присутствии конденсата, значительно отличающийся от предсказываемого теорией волновой турбулентности спектра Колмогорова-Захарова. Интересно отметить, что новый универсальный спектр близок к наблюдавшемуся в лаборатории спектру обратного каскада. После изучения структуры конденсата и установления, что он имеет стохастический характер (соседние гармоники могут иметь амплитуды, различающиеся в разы и больше), совместно с коллегами было предложено развить описание взаимодействия конденсата и обратного каскада в рамках кинетического уравнения Хассельманна. Для этого была вычислена аналитическая асимптотика матричного элемента взаимодействия волн для масштабов малых, по сравнению с характерным масштабом

конденсата, моделируемого бесконечно тонким кольцом. После чего для кинетического уравнения Хассельманна было выведено приближение в виде уравнения диффузии в пространстве волновых векторов с неоднородным коэффициентом диффузии. Получен спектр соответствующий постоянному потоку волнового действия на фоне конденсата, достаточно близкий к наблюдавшемуся в численном эксперименте спектру, описанному выше.

В разделе 5.5 «Заключение» подводятся итоги этой части исследования.

В Заключении диссертации сформулированы главные результаты работы и размещены благодарности.

Основные результаты по теме диссертации изложены в 20 печатных изданиях, 5 из которых изданы в журналах, рекомендованных ВАК, 20 — в периодических научных журналах, индексируемых Web of Science и Scopus:

1. A.O. Korotkevich, A.C. Newell, and V.E. Zakharov, *Communication through plasma sheaths*, J. Appl. Phys., 102, 8, 083305 (2007)
DOI: 10.1063/1.2794856
2. A.O. Korotkevich, S.A. Nikitov, *Cross-phase modulation of surface magnetostatic spin waves*, JETP, 89, 6, 1114-1119 (1999)
3. A.I. Maimistov, I.R. Gabitov, and A.O. Korotkevich, *Coherent propagation of the optical pulse in a plasmonic Bragg grating* (Russian version), Quantum Electronics, 37, 6, 549-553 (2007)
DOI: 10.1070/QE2007v037n06ABEH013468
4. I.R. Gabitov, A.O. Korotkevich, A.I. Maimistov, and J.B. McMahon, *Solitary waves in plasmonic Bragg gratings*, Appl. Phys. A, 89, 277-281 (2007)
DOI: 10.1007/s00339-007-4102-x
5. A.O. Korotkevich, K.E. Rasmussen, G. Kovačič, V. Roytburd, A.I. Maimistov, I.R. Gabitov, *Optical pulse dynamics in active metamaterials with positive and negative refractive index*, JOSAB, 30, 4, 1077-1084 (2013)
DOI: 10.1364/JOSAB.30.001077
6. A.O. Korotkevich, P.M. Lushnikov, and H.A. Rose, *Beyond the random phase approximation: Stimulated Brillouin backscatter for finite laser coherence times*, Phys. of Plasmas 22, 012107 (2015)
DOI: 10.1063/1.4906057
7. S.A. Dyachenko, P.M. Lushnikov, and A.O. Korotkevich, *Branch cuts of Stokes wave on deep water. Part I: Numerical solution and Padé approximation*, Studies in Applied Mathematics 137 (4), 419-472 (2016).
DOI: 10.1111/sapm.12128
8. A.O. Korotkevich, P.M. Lushnikov, A.A. Semenova, and S.A. Dyachenko, *Superharmonic Instability of Stokes Waves*, Studies in Applied Mathematics, 150, 1, 119-134 (2023).
DOI: 10.1111/sapm.12535
9. A.O. Korotkevich, A.I. Dyachenko, and V.E. Zakharov, *Numerical simulation of surface waves instability on a homogeneous grid*, Physica D: Nonlinear Phenomena 321, 51-66 (2016).
10. A.O. Korotkevich, *Direct numerical experiment on measurement of the dispersion relation for gravity waves in the presence of the condensate*, JETP Letters, 97, 3, 126-130 (2013)
DOI: 10.1134/S0021364013030053
11. A.O. Korotkevich and V.E. Zakharov, *Evaluation of a spectral line width for the Phillips spectrum by means of numerical simulation*, Nonlin. Processes in Geophysics 22, 325-335 (2015)
DOI: 10.5194/npg-22-325-2015

12. A.O. Korotkevich, A.O. Prokofiev, and V.E. Zakharov *On Dissipation rate of ocean waves due to white capping*, JETP Letters, 109, 5, 309-315 (2019)
DOI: 10.1134/S0021364019050035
13. V.E. Zakharov, A.O. Korotkevich, A.N. Pushkarev and A.I. Dyachenko, *Mesosopic wave turbulence*, JETP Lett., 82, 8, 487-491 (2005).
14. J.W. Banks, T. Buckmaster, A.O. Korotkevich, G. Kovačič, and J. Shatah, *Direct Verification of the Kinetic Description of Wave Turbulence for Finite-Size Systems Dominated by Interactions among Groups of Six Waves*, Phys. Rev. Lett., 129, 034101 (2022)
DOI: 10.1103/PhysRevLett.129.034101
15. A.O. Korotkevich, *Simultaneous numerical simulation of direct and inverse cascades in wave turbulence*, Phys. Rev. Lett., 101, 7, 074504 (2008)
DOI: 10.1103/PhysRevLett.101.074504
16. A.O. Korotkevich, *Influence of the condensate and inverse cascade on the direct cascade in wave turbulence*, Math. Comp. Simul., 82, 7, 1228-1238 (2012)
DOI: 10.1016/j.matcom.2010.07.009
17. V.E. Zakharov, A.O. Korotkevich, A.N. Pushkarev, and D. Resio, *Coexistence of weak and strong wave turbulence in a swell propagation*, Phys. Rev. Lett., 99, 16, 164501 (2007)
DOI: 10.1103/PhysRevLett.99.164501
18. A.O. Korotkevich, A.N. Pushkarev, D. Resio, and V.E. Zakharov, *Numerical verification of the weak turbulent model for swell evolution*, Eur. J. Mech. B/Fluids, 27, 4, 361-387 (2008)
DOI: 10.1016/j.euromechflu.2007.08.004
19. A.O. Korotkevich, *Inverse Cascade Spectrum of Gravity Waves in the Presence of a Condensate: A Direct Numerical Simulation*, Phys. Rev. Lett., 130, 264002 (2023)
DOI: 10.1103/PhysRevLett.130.264002
20. A.O. Korotkevich, S.V. Nazarenko, Y. Pan, and Jalal Shatah, *Non-local gravity wave turbulence in presence of condensate*, J. Fluid Mech., 992, A1 (2024)
DOI: 10.1017/jfm.2024.423

Личный вклад автора в работах с соавторами был одним из определяющих. В 14 работах по теме диссертации автор единственный или первый автор. Во всех работах автор участвовал в анализе результатов.

Основные положения диссертационной работы представлены на международных и российских научных конференциях: «The 8th International Conference on Ferrites (ICF8)» (Киото, Япония, 2000), «Topical Problems of Nonlinear Wave Physics» (Санкт-Петербург – Нижний Новгород, Россия, 2005), «SIAM Conference on Nonlinear Waves and Coherent Structures» (Сиэтл, Вашингтон, США, 2006; Филадельфия, Пеннсильвания, США, 2010; Сиэтл, Вашингтон, США, 2012; Кэмбридж, Великобритания, 2014; Филадельфия, Пеннсильвания, США, 2016; Анахайм, Калифорния, США, 2018; Бремен, Германия, 2022), «Frontiers of Nonlinear Physics» (Нижний Новгород – Саратов – Нижний Новгород, Россия, 2007), «AMS Fall Western Section Meeting» (Альбукерке, Нью-Мексико, США, 2007; Тусон, Аризона, США, 2012), «Solitons, Collapses and Turbulence: Achievements, Developments and Perspectives» (Черноголовка, Россия, 2007, 2009, 2014; Ярославль, Россия, 2019), «IMACS International Conference on Nonlinear Evolution Equations and Wave Phenomena: Computation and Theory» (Афины, Джорджия, США, 2009, 2013, 2015, 2017, 2019, 2022), «International Conference on Numerical Analysis and Applied Mathematics» (Ретимно, Крит, Греция, 2009; Халкидики, Греция, 2011), «AMS Spring Western Section Meeting» (Альбукерке, Нью-Мексико, США, 2010, 2014, 2021), «Frontiers in Nonlinear Waves» (Тусон, Аризона, США, 2010), «Landau Days» (Черноголовка, Россия, 2010, 2011, 2013, 2015, 2022), «International Congress on Industrial and Applied Mathematics» (Ванкувер, Канада, 2011), научная сессия Совета РАН по нелинейной динамике (Москва, Россия, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2019, 2020, 2021, 2022), «IUGG Conference on Mathematical Geophysics» (Эдинбург, Великобритания, 2012), «Nonlinear Waves in Fluids» (Лафборо, Великобритания, 2012), «Wave Interactions and Turbulence»

(Торонто, Канада, 2013), «AIMS Conference on Dynamical Systems, Differential Equations and Applications» (Орландо, Флорида, США, 2016), «Theoretical and Computational Aspects of Nonlinear Surface Waves» (Банфф, Альберта, Канада, 2016), «Joint Mathematics Meetings» (Сан-Диего, Калифорния, США, 2018), «SIAM Conference on Application of Dynamical Systems» (США, 2021), «SIAM Annual Meeting» (онлайн, США, 2021), а также многочисленных семинарах в различных университетах и исследовательских институтах.

Опубликованные по теме диссертации работы в полной мере отражают её содержание. Объём и уровень произведённого теоретического исследования, а также новизна и актуальность полученных результатов, свидетельствуют о том, что диссертация Короткевича А.О. удовлетворяет всем требованиям ВАК, а её автор заслуживает присвоения учёной степени доктора физико-математических наук.

На основании изложенного Сектор физики неравновесных состояний ИТФ им. Л.Д. Ландау РАН рекомендует диссертацию Короткевича А.О. «Моделирование нелинейных волн в задачах теоретической физики» к публичной защите по специальности 1.3.3 – «Теоретическая физика» (физико-математические науки).

*Заведующий Сектором
физики неравновесных состояний
главный научный сотрудник
ИТФ им. Л.Д. Ландау РАН
член-корр. РАН*

A large grey oval redaction covers the signature of the official. Above the oval, there are faint blue handwritten initials, possibly 'В.В.'. Below the oval, there is a blue horizontal line.

дов В.В.

2026г.