

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА
№ 24.1.128.01 (Д 002.207.ХХ), СОЗДАННОГО НА БАЗЕ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ
НАУКИ ИНСТИТУТ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ ИМ. Л.Д. ЛАНДАУ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА
СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело №
решение диссертационного совета от 09.10.2026 № 10_

О присуждении Короткевичу Александру Олеговичу, гражданину РФ, ученой степени доктора физико-математических наук.

Диссертация «Моделирование нелинейных волн в задачах теоретической физики» по специальности 1.3.3 – теоретическая физика принята к защите 03.07.2026 (протокол заседания №5) диссертационным советом № 24.1.128.01 (Д002.207.ХХ), созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт теоретической физики им. Л.Д. Ландау Российской академии наук, 142432, Московская обл., г. Черноголовка, пр-т акад. Семенова, д. 1А, приказом № 1309/нк от 22.06.2023.

Соискатель Короткевич Александр Олегович, 25.06.1977 года рождения. Диссертацию «Численное моделирование слабой турбулентности поверхностных волн» на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук защитил в 2003 году, в диссертационном совете, созданном на базе Института теоретической физики им. Л.Д. Ландау Российской академии наук, работает профессором Центра инженерной физики Автономной некоммерческой образовательной организации высшего образования «Сколковский институт науки и технологий» и по совместительству научным сотрудником в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институт теоретической физики им. Л.Д. Ландау Российской академии наук (ИТФ им. Л.Д. Ландау РАН). Диссертация

выполнена в секторе Физики неравновесных состояний ИТФ им. Л.Д. Ландау РАН и подготовлена в Центре инженерной физики Автономной некоммерческой образовательной организации высшего образования «Сколковский институт науки и технологий». Диссертация представлена к защите впервые.

Официальные оппоненты:

1. Балакин Алексей Антониевич, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник ФГБНУ Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова Российской академии наук;
2. Зубарев Николай Михайлович, доктор физико-математических наук, член-корреспондент РАН, главный научный сотрудник ФГБУН Институт электрофизики Уральского отделения Российской академии наук;
3. Розанов Николай Николаевич, доктор физико-математических наук, академик РАН, главный научный сотрудник ФГБУН Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук, Москва, в своем положительном отзыве, подписанном членом-корреспондентом РАН, доктором физико-математических наук, главным научным сотрудником Лаборатории морских течений Жмуром Владимиром Владимировичем, указала, что диссертация демонстрирует возможности применения подходов теории нелинейных волн к решению широчайшего круга задач, начиная с динамики квазимонохроматических слабонелинейных волн и завершая задачами эволюции случайных волновых полей с приложениями к практическим задачам, в частности, к проблеме прогноза морского волнения. По мнению автора отзыва ведущей организации, в настоящее время можно говорить о некотором дисбалансе солидного теоретического задела и относительно скромного использования

этого задела при решении конкретных прикладных и исследовательских задач. В рассматриваемой диссертации автор пытается смягчить сложившееся положение, рассматривая подобные исследовательские и научно-прикладные задачи. Диссертация начинается с рассмотрения простейших подходов к моделированию нелинейных волн на примере двух задач: приём и передача сигнала за пределы плазменного облака, окружающего гиперзвуковой аппарат при движении в атмосфере и фазовой кросс-модуляции поверхностных магнитостатических спиновых волн в ферромагнитных пленках. Далее демонстрируется использование приближения огибающей в оптике и физике плазмы рассматриваются задачи. Затем автор переходит к демонстрации методов работы с сильно нелинейными волнами на примере волн Стокса на поверхности глубокой жидкости. В частности решения в виде волн Стокса вычисляются с высокой точностью, а затем эти данные используются для исследования задачи о супергармонической неустойчивости этих волн. Далее автор переходит к рассмотрению волн на поверхности глубокой жидкости в рамках слабонелинейных уравнений, где удаётся обнаружить и исследовать неустойчивость стоячей волны, как для гравитационных, так и для капиллярных волн, исследовать влияние сильного длинноволнового фона (конденсата) на взаимодействие гравитационных волн, а также исследовать влияние микрообрушений волн на процессы диссипации энергии. Наконец, в диссертации рассматривается статистический подход к описанию волнового поля в рамках различных важных для практических применений моделей, где в ряде случаев удаётся сформулировать условия применимости статистического описания в рамках кинетического уравнения для волн с целью моделирования динамики волнового поля. Основными результатами работы являются:

1. Доказана путём аналитических оценок и численного моделирования осуществимость предлагаемого способа связи с гиперзвуковыми аппаратами при вхождении в плотные слои атмосферы, основанного на использовании нелинейного взаимодействия волн в плазме, когда

формирующееся вокруг тела плазменное облако препятствует связи на сравнительно низких частотах. Это позволяет предложить одно из решений проблемы временного пропадания радиосвязи с пилотируемыми космическими аппаратами при возвращении на Землю.

2. Построена теория фазовой кросс-модуляции для поверхностных магнитостатических спиновых волн, выведены условия возникновения модуляционной неустойчивости. Развитая теория фазовой кросс-модуляции поверхностных магнитостатических спиновых волн используется для объяснения данных эксперимента одновременного распространения поверхностных волн на двух частотах в железо-иттриевом гранате.
3. Получено аналитически и исследовано численно точное решение в виде уединённой волны для модели Максвелла-Даффинга, описывающей распространение оптических импульсов в противоположных направлениях в Брэгговских решётках с нелинейным взаимодействием.
4. Исследовано численно распространение импульсов в активной среде с Λ -конфигурацией уровней в рамках модели Максвелла-Блоха при возможности распространения света в противоположных направлениях, что является характерным для метаматериалов с отрицательным показателем преломления. Обнаружено возникновение самозахвата импульсов через нелинейное взаимодействие. Исследование распространения света в брэгговских решётках с нелинейностью и в среде с Λ -конфигурацией уровней при наличии волн, распространяющихся в обоих направлениях, позволяет предложить эксперименты в метаматериалах с отрицательным эффективным показателем преломления, а также рассмотреть возможные применения обнаруженных эффектов для проектирования перспективных оптических устройств.
5. В результате массивного численного моделирования подтверждён новый механизм неустойчивости при распространении мощного лазерного излучения в плазме, характерной для установок лазерного управляемого термоядерного синтеза, что позволило рекомендовать изменения в таких

установках, снижающие вероятность катастрофического повреждения оптической системы.

6. Вычислены с высокой (близкой к квадратичной) точностью решения в виде волн Стокса разного уровня нелинейности. Библиотека полученных решений доступна для сообщества на открытом ресурсе в сети Интернет. Используя полученные решения, дана новая, более точная по сравнению с предыдущими, оценка крутизны (амплитуды) предельной волны Стокса. Получены численно инкременты неустойчивости для волн Стокса в новом, недостижимом ранее, диапазоне крутизн (нелинейностей). Это не только открывает новые возможности для развития теории гравитационных волн на воде, но и предоставляет эффективный инструмент тестирования новых кодов для моделирования нелинейных волн на поверхности жидкости.
7. Построена аналитическая теория кольцевой неустойчивости стоячей волны на поверхности трёхмерной жидкости. Продемонстрирована кольцевая неустойчивость гравитационных и капиллярных стоячих волн, что позволило предложить новые экспериментальные техники по возбуждению изотропного волнового поля, что является одной из стандартных постановок для экспериментов по верификации теории волновой турбулентности.
8. Промерен прямым численным моделированием закон дисперсии гравитационных волн на поверхности трёхмерной жидкости в присутствии сильного длинноволнового фона (конденсата). Показано, что, хотя ширина линии остаётся сравнительно узкой, пренебрегать отклонением дисперсионного закона от линейного, т.е. взаимодействием с конденсатом, уже нельзя. Это накладывает ограничения на применимость классических решений Колмогорова-Захарова в виде спектров прямого и обратного каскадов в конечных системах в присутствии конденсата.
9. Измерена прямым методом зависимость затухания волнового спектра от крутизны (меры нелинейности) при смещении в область длинных волн, что позволяет продвинуться в направлении теории, описывающей

феноменологические члены диссипации в кинетическом уравнении Хассельманна, характерные для моделей ветрового волнения. В частности, показано, что ряд предложенных форм диссипативных членов существенно переоценивает вклад данного механизма.

10. Обнаружен новый режим волновой турбулентности в конечных системах – мезоскопическая турбулентность, являющаяся промежуточным состоянием между почти линейными волнами и режимом, хорошо описываемым кинетическим уравнением для гравитационных волн (уравнение Хассельманна). В данном режиме сохраняется качественное соответствие детерминистического описания в рамках динамических уравнений и статистического описания в рамках уравнения Хассельманна. Продемонстрирована возможность сосуществования сильной и слабой турбулентности для гравитационных волн на поверхности трёхмерной жидкости. Проведено прямое сравнение детерминистского и статистического описаний волнового поля. Всё это позволило объяснить расхождение результатов моделирования в рамках кинетического уравнения Хассельманна и экспериментов по наблюдению ветрового волнения.
11. Для модели шестиволнового одномерного нелинейного уравнения Шрёдингера продемонстрирован пороговый характер условий применимости кинетического уравнения для описания параметров волнового поля. Детальное исследование применимости кинетического волнового уравнения в случае шестиволнового взаимодействия, применимого для описания динамики спектральной функции распределения для волн в волоконно-оптических линиях связи, дало возможность понять механизмы проявления нарушения предположений, в которых выводится кинетическое уравнение для волн. В свою очередь это позволяет продвинуться к лучшему пониманию применимости кинетического уравнения для волн в общем смысле, включая кинетическое уравнение Хассельманна, являющееся фундаментом для моделей предсказания ветрового волнения.

12. В рамках динамических уравнений для гравитационных волн на поверхности трёхмерной жидкости продемонстрировано одновременное формирование спектров прямого и обратного каскадов волновой турбулентности с образованием сильного длинноволнового фона (конденсата). Показано, что присутствие конденсата может привести к изменению спектра прямого каскада от спектра Захарова-Филоненко до спектра Филлипса. Представлен возможный механизм данного явления. Это позволило подтвердить применимость теории волновой турбулентности Захарова и осуществимость решений Колмогорова-Захарова как минимум в некотором диапазоне параметров волнового поля.

13. При массивном численном моделировании турбулентности гравитационных волн в рамках динамических уравнений в присутствии конденсата открыт новый универсальный спектр обратного каскада. Предложено возможное аналитическое объяснение нового спектра в рамках кинетического уравнения для волн (Хассельманна), что позволило объяснить ряд экспериментальных наблюдений и прояснить характер главенствующих нелинейных процессов в конечных системах, в частности, в лабораторных волновых бассейнах.

Научная новизна представленных результатов не вызывает сомнений. Демонстрацией практической значимости работы является проведённая в ней интерпретация экспериментальных и численных данных. Работа, имеет несомненную теоретическую значимость, определяемую новизной и содержанием решенных в ней задач теоретических задач.

Соискатель имеет 42 опубликованных работы, в том числе по теме диссертации опубликовано 20 работ в журналах, индексируемых Web of Science: Core Collection, из них 5 опубликовано российских журналах уровня K1 ВАК:

1. A.O. Korotkevich, A.C. Newell и V.E. Zakharov, *Communication through plasma sheaths*, J. Appl. Phys., 102, 8, 083305 (2007).

2. А.О. Короткевич, С. А. Никитов, *Фазовая кросс-модуляция поверхностных магнитостатических спиновых волн*, Журнал экспериментальной и теоретической физики, 116, 6, 2058-2068 (1999).
3. А. И. Маймистов, И. Р. Габитов и А. О. Короткевич, *Когерентное распространение оптического импульса в брэгговской плазмонной решетке*, Квантовая электроника, 37, 6, 549-553 (2007).
4. I.R. Gabitov, A.O. Korotkevich, A.I. Maimistov и J.B. McMahon, *Solitary waves in plasmonic Bragg gratings*, Appl. Phys. A, 89, 277-281 (2007).
5. A.O. Korotkevich, K.E. Rasmussen, G. Kovačič, V. Roytburd, A.I. Maimistov и I.R. Gabitov, *Optical pulse dynamics in active metamaterials with positive and negative refractive index*, JOSA B, 30, 4, 1077-1084 (2013).
6. A.O. Korotkevich, P.M. Lushnikov и H.A. Rose, *Beyond the random phase approximation: Stimulated Brillouin backscatter for finite laser coherence times*, Phys. of Plasmas 22, 012107 (2015).
7. S.A. Dyachenko, P.M. Lushnikov и 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).
8. A.O. Korotkevich, P.M. Lushnikov, A.A. Semenova и S.A. Dyachenko, *Superharmonic Instability of Stokes Waves*, Studies in Applied Mathematics, 150, 1, 119-134 (2023).
9. A.O. Korotkevich, A.I. Dyachenko и 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*, Письма в ЖЭТФ, 97, 3/4, 145-149 (2013).
11. A.O. Korotkevich и 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).

12. А. О. Короткевич, А. О. Прокофьев и В. Е. Захаров, *О темпе диссипации океанских волн, вызванной их обрушением*, Письма в ЖЭТФ, 109, 5, 312-319 (2019).
13. V.E. Zakharov, A.O. Korotkevich, A.N. Pushkarev и A.I. Dyachenko, *Mesosopic wave turbulence*, Письма в ЖЭТФ, 544-548 (2005).
14. J.W. Banks, T. Buckmaster, A.O. Korotkevich, G. Kovačič и 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).
15. A.O. Korotkevich, *Simultaneous numerical simulation of direct and inverse cascades in wave turbulence*, Phys. Rev. Lett., 101, 7, 074504 (2008).
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).
17. V.E. Zakharov, A.O. Korotkevich, A.N. Pushkarev и D. Resio, *Coexistence of weak and strong wave turbulence in a swell propagation*, Phys. Rev. Lett., 99, 16, 164501 (2007).
18. A.O. Korotkevich, A.N. Pushkarev, D. Resio и V.E. Zakharov, *Numerical verification of the weak turbulent model for swell evolution*, Eur. J. Mech. B/Fluids, 27, 4, 361-387 (2008).
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).
20. A.O. Korotkevich, S.V. Nazarenko, Y. Pan и J. Shatah, *Non-local gravity wave turbulence in presence of condensate*, J. Fluid Mech., 992, A1 (2024).

Диссертационный совет подтверждает, что все основные положения и выводы диссертации содержатся в опубликованных по теме диссертации работах. Автореферат передает содержание диссертации с достаточной полнотой.

На диссертацию и автореферат поступили только положительные

отзывы. В них отмечается актуальность работы, важность полученных научных результатов и их новизна. В отзывах оппонентов и ведущей организации отмечаются следующие критические замечания:

1. Из общих замечаний следует выделить не приведённые явно условия применимости уравнений, которые не позволяют оценить погрешность и достижимость получаемых результатов. Это замечание касается многих разделов, включая пп. 1.1.2, 1.2.2, 2.1.1, 2.3.1, 4.1.1.
2. Асимптотическое выражение (1.30) хорошо работает только в окрестности резонанса. Напротив граничное условие (перед (1.31)) ставится относительно далеко от резонанса. Это делает формулы (1.31) и далее не вполне обоснованными, а скорее похожими на оценки по порядку величины.
3. В начале раздела 1.1.3 предлагается использовать метод «прогонки» для поиска решения эллиптического уравнения (1.15). На мой взгляд это не вполне эффективный путь, поскольку фундаментальные моды в уравнениях эллиптического типа значительно проще и быстрее искать методом установления или различными итерационными методами.
4. Термин «дисперсионное соотношение» подразумевает наличие принципа суперпозиции для построения решений, но в нелинейной задаче его нет. Более того, формулы (1.59)-(1.63) выглядят неудачно и с математической точки зрения, поскольку величины k и координаты/интенсивности не являются коммутирующими. Другими словами, подобный формализм можно использовать только в пределе геометрической оптики (т.е. до учёта перекрёстных некоммутирующих членов), что делает формулы избыточными и некорректными. Собственно, именно такие («неперекрёстные») члены остаются в итоге в (1.64). В связи с этим не понятно зачем писать столько некорректных формул, а не стартовать сразу с (1.64) или (1.65). Последняя имеет легко объяснимую форму в виде двух нелинейно-связанных нелинейных уравнений Шредингера.
5. В формуле после (1.64) пропущен квадрат у скорости.
6. Анализ устойчивости (1.82)-(1.91) рассматривает только ситуацию

одинаковых знаков β_1 , β_2 и f_1 , f_2 , когда однородное решение неустойчиво. Однако, интересный случай устойчивости однородного решения как раз достигается при разных знаках.

7. Численные результаты и аналитические формулы дают заметно расходящиеся значения в разделе 2.3.3 (рис. 2.19-2.20). Хорошо бы подробнее обсудить причины различия и низкой точности численного моделирования.
8. Вывод ко второй главе "В данной главе на примерах из нелинейной оптики и физики плазмы продемонстрирована общность подхода приближения огибающей, естественно появляющегося при сравнительно высоких частотах несущей волны, несмотря на существенно отличающуюся физику рассмотренных систем." выглядит слишком общим и хорошо известным.
9. Вычисление волны Стокса методом сопряжённых градиентов конечно возможно, но очень трудоёмко при большом числе точек. Обычно для решения частной задачи собственных чисел/векторов используют методы установления для эллиптических уравнений или итерационные методы. Следует пояснить этот момент.
10. В п.3.2.2 подменяется заявленная задача исследования волны Стокса на устойчивость, на более простую задачу нахождения точек бифуркации волны Стокса.
11. В п.4.1.2 вначале высказываются общие утверждения о неустойчивости волн, которые ниже оказываются верными лишь частично (см. (4.51)).
12. На первый взгляд, достоверность результатов расчётов на рисунках 4.6-4.20 вызывает сомнения, поскольку число точек явно недостаточно для разрешения резонансной кривой (если каждый пиксель/пик отвечает одной гармонике). Поэтому представляет полезным обсудить насколько полученные результаты описывают «реальную» ситуацию, а не особенности дискретной схемы, используемой для расчётов. У меня создаётся стойкое впечатление, что исследуется именно особенности численной схемы, поскольку появление стохастизации при высоких

амплитудах как раз характерно для дискретных систем. Аналогичный вопрос возникает и к результатам п.5.4 (рис. 5.37).

13. Нехорошо называть «трёхмерной гидродинамикой» результаты расчёта турбулентности в рамках двумерных уравнений (4.19) в п.4.3.1.
14. На стр. 203 приводится утверждение: «Также необходимо поддерживать среднюю крутизну достаточно высокой, чтобы четырёхволновое взаимодействие не было остановлено дискретностью сетки волновых чисел [361].» Это странно, поскольку высокая крутизна означает резкое изменение амплитуды от точки к точке, значит сеточная дисперсия сильнее, т.е. дискретность влияет больше. Возможно имеется в виду условие «удержания» основной части спектра в середине расчётной области, т.к. в спектральных методах ошибки возникают, как правило, и для крупных [порядка расчётной области] и для мелких [порядка шага сетки] масштабов.
15. Похоже, что в разделе 5.1 ссылка на уравнение (5.1) должна указывать на 6ВНУШ, а не на уравнение (5.1) на стр. 219.
16. Получение коэффициентов степенных зависимостей при изменении параметра всего лишь в три раза является не вполне обоснованным. Это замечание относится к большинству рисунков в двойном логарифмическом масштабе в главах 4 и 5.
17. На стр. 160 и 161 при переходе от формулы (4.13) к ключевым уравнениям движения (4.19) не приведено обоснование, почему опускается кубически нелинейный член с множителем. Представляется, что он может играть существенную роль на масштабе $k^2 \sim g/\sigma$.
18. В работе отсутствует прямое сопоставление динамического и кинетического описания турбулентности гравитационных волн при аналогичных начальных распределениях спектральных плотностей. Учитывая высокую вычислительную ресурсоемкость подобных расчетов, в качестве продуктивного приближения можно было бы использовать модельную двумерную среду с законом дисперсии, соответствующим гравитационным волнам, и максимально упрощенной нелинейностью. В

связи с этим выбор модели дефокусирующего шестиволнового нелинейного уравнения Шредингера (6ВНУШ) для подобного сопоставления видится не вполне обоснованным.

19. В разделе 5.2 при сопоставлении детерминистских и статистических моделей отождествляются спектральные плотности N_k и n_k используемых волновых функций. Данные величины отличаются слагаемыми порядка μ^2 (здесь μ – крутизна, стр. 237). Автор указывает, что различия между N_k и n_k практически отсутствуют при характерной крутизне ~ 0.1 , в то время как численные расчеты проводились в том числе и при существенно больших значениях крутизны, что требует дополнительного комментария.
20. В тексте исследования (основные результаты и положения, выносимые на защиту) используется формулировка, определяющая область реализации мезоскопической турбулентности как «состояние между почти линейными волнами и режимом, хорошо описываемым кинетическим уравнением для гравитационных волн». Такое определение представляется не вполне удачным, поскольку может возникнуть неверное впечатление, будто «почти» линейность волн обусловлена их малой амплитудой (крутизной) как первопричиной, тогда как в действительности она связана с нереализуемостью резонансных условий для большей части гармоник.
21. В диссертации встречается ряд редакционных неточностей и погрешностей, характерных для работ столь крупного объема. К ним можно отнести: отдельные фразы с неочевидным смысловым акцентом (например, начинающаяся с «В данном разделе...» фраза на стр. 222); дублирование теоретических рассуждений и уравнений (в частности, стационарных решений кинетического уравнения на стр. 262 и 180); сбой в нумерации формул на стр. 219-230, затрудняющий навигацию по ссылкам на ключевое уравнение 6ВНУШ; использование символа Δ в различных физических смыслах в пределах стр. 209; опечатки (например, дефокусирующее уравнение 6ВНУШ на стр. 222 названо

фокусирующим); а также отсутствие расшифровки к правой градиентной шкале на рис. 4.23.

22. В диссертации не видно обоснования пониженной геометрической размерности некоторых задач. Так, в разделе 1.1 постулируется независимость решения от декартовой координаты x , хотя эта координата не выделена по параметрам от координаты y .
23. В разделе 2.1 при переходе от уравнения Дuffинга (последнего уравнения на стр. 72) к (2.3.3) опущен член с затуханием, что обосновывается короткой длительностью импульса. Однако в отсутствие затухания представляющий поляризацию среды осциллятор Дuffинга, будучи за время иницирующего импульса возбужден, раскачивается после этого неограниченно долго. Это приведет и к неограниченной длительности вторичного излучения (известный эффект «звона среды»). Даже если импульс подобран так, что осциллятор в конце его останавливается (уединенная волна), такой эффект проявляется при анализе устойчивости решений, поскольку ограничение исходно малых возмущений происходит за счет затухания. Возможно, это обстоятельство проявилось при численном моделировании в «горячих точках», показанных на рис. 2.6.
24. Не ясно, что такое «характерное время потерь» на стр. 62.
25. На стр. 63 в трех формулах интегралов Фурье поставлены не те дифференциалы.
26. Структура диссертации, в целом соответствует масштабу работы и верно отражает основные ее направления. В то же время, часть материала могла бы быть представлена в более краткой форме, тем более, что все элементы исследований подробно изложены в легко доступных публикациях в известных журналах. Объем автореферата явно избыточен. Подробности работы могли бы быть опущены. В то же время, обобщающие заключения разделов диссертации неоправданно лаконичны.
27. При оформлении работы допущены многочисленные небрежности. В тексте довольно много неточных фраз и явных оговорок. Например, на

стр.25, последний абзац, находим фразу «План неустойчивости следующий». Список литературы оформлен в различных стилях 1) Автор, Название ... (ссылки 1-8) и 2) Название, Автор (ссылки 9, 36, 37 и т.д). Ряд ссылок дублирован (уже упоминавшиеся 320-321).

В отзывах указано, что перечисленные вопросы и замечания носят уточняющий характер, не снижают общего положительного впечатления от диссертационной работы Короткевича А.О. и не влияют на общую высокую оценку диссертации как законченной и актуальной научно-квалификационной работы, имеющей научную новизну и практическую значимость.

На все поступившие вопросы и замечания соискателем даны исчерпывающие ответы.

Выбор официальных оппонентов обосновывается тем, что они являются высококвалифицированными специалистами в области теории нелинейных волн, что подтверждается списками их публикаций в соответствующих журналах: Балакин А.А. (докторская диссертация по специальности «Физика плазмы») является специалистом широкого профиля по вычислительной физике вообще и вычислительной оптике и физике плазмы в частности (например имеет публикации в журналах "Optic Letters", "Physics of Plasmas", «Plasma Physics Reports»); Зубарев Н.М. (докторская диссертация по специальности «Теоретическая физика») является специалистом в области теории сильно нелинейных поверхностных волн в жидкости и физике плазмы (например имеет публикации в журналах "Physica D: Nonlinear Phenomena", "Physics of Plasmas", "Wave Motion", "Physics of Fluids"); Розанов Н.Н. (докторская диссертация по специальности «Оптика») является признанным специалистом в области нелинейной оптики вообще и оптических солитонов в частности (например имеет публикации в журналах "Physical Review A", "Квантовая электроника", "Успехи физических наук", а также является автором ряда монографий по диссипативным солитонам в оптике). Выбор ведущей организации определяется тем, что она является признанным мировым научным центром в области нелинейных волн на поверхности жидкости и моделей прогнозирования ветрового волнения, основывающихся

на кинетическом уравнении для волн Хассельманна.

Диссертационный совет отмечает, что совокупность выполненных соискателем исследований А.О. Короткевича является квалифицированной и самостоятельной научной работой и удовлетворяет всем требованиям обоснованности, новизны и значимости, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени доктора физико-математических наук.

В данной работе стандартные методы теории нелинейных волн применяются к нелинейным волновым явлениям в различных средах. А именно к задачам классической теории поля в рамках электродинамики классических и квантовых сред, к задачам физической кинетики, к задачам теории конденсированного состояния в области классических жидкостей, неравновесных систем и волновой турбулентности. Все эти направления исследований соответствуют паспорту специальности 1.3.3 «Теоретическая физика». На примерах работ автора демонстрируется общность подходов, несмотря на существенно разную физику в решаемых задачах. Модели, используемые для описания нелинейных волн в различных средах, имеют общие черты и общие методы решения как аналитические, так и численные. В теории нелинейных волн, в силу сложности аналитического аппарата, особенно заметно проявляется эффективность связки численных методов решения, дающих дополнительную интуицию и информацию о задаче, с последующим аналитическим объяснением явлений, наблюдаемых в численном или натурном эксперименте.

Научное значение диссертации, в частности, её значимость для теоретической физики, состоят в следующем.

1. Построена теория, описывающая нелинейное резонансное взаимодействие волн для конечных областей в различных моделях, в частности, исследован предельный переход от динамических уравнений для волн в конечной области к кинетическому уравнению, сформулированному в бесконечной среде.
2. Построена теория, описывающая распространение оптических импульсов

в метаматериалах, включая активные среды, что даёт основу для дальнейшего использования плазмонных метаматериалов, характеризующихся высокими потерями.

3. Получение и предоставление научному сообществу библиотеки волн Стокса различной амплитуды, вычисленных с высокой точностью, а также исследование их неустойчивости не только открывает новые возможности для развития теории гравитационных волн на воде, но и предоставляет эффективный инструмент тестирования новых кодов для моделирования нелинейных волн на поверхности жидкости.
4. Открытие и исследование неустойчивости стоячей волны на поверхности жидкости позволило предложить новые экспериментальные техники по возбуждению изотропного волнового поля, что является одной из стандартных постановок для экспериментов по верификации теории волновой турбулентности.
5. Открытие мезоскопической волновой турбулентности и сосуществования сильной и слабой волновой турбулентности позволило объяснить расхождение результатов моделирования в рамках кинетического уравнения Хассельманна и экспериментов по наблюдению ветрового волнения.
6. Наблюдение одновременного формирования прямого и обратного турбулентных каскадов для гравитационных волн позволило подтвердить применимость теории волновой турбулентности Захарова и осуществимость решений Колмогорова-Захарова как минимум в некотором диапазоне параметров волнового поля.
7. Открытие аналитического объяснения нового универсального спектра обратного каскада гравитационных волн в присутствии конденсата позволило объяснить ряд экспериментальных наблюдений и прояснить характер главенствующих нелинейных процессов в конечных системах, в частности, в лабораторных волновых бассейнах.

Значение полученных соискателем результатов исследования для

практики состоит в том, что развитая теория нелинейного взаимодействия волн позволяет глубже понять реализуемость механизмов передачи энергии, что важно для обоснования применимости моделей прогнозирования ветрового волнения.

Полученные результаты могут быть использованы и уже были частично использованы для интерпретации экспериментальных наблюдений нелинейных волн, планировании перспективных лабораторных экспериментов и новых постановок задач для численного моделирования.

Достоверность полученных результатов обеспечивается как контролем точности использованных численных и аналитических методов, так и сравнением с результатами работ других авторов, а также с данными натурных и численных экспериментов. Результаты исследования прошли широкую научную апробацию на более чем 50 международных и российских конференциях с международным участием и международных симпозиумах. Результаты проведенной работы легли в основу более чем 30 научных публикаций, входящих в международные базы данных Web of Science/Scopus и список ВАК (К1).

Все результаты, приведённые в данной диссертационной работе, получены лично автором или при его непосредственном участии. 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.

Полученные в диссертации результаты и развитые в ней методы рекомендуется использовать, в частности, в Институте прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова РАН, Институте океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Институте электрофизики УрО РАН, Сколковском институте науки и технологий, Физико-техническом институте им. А.Ф. Иоффе РАН.

В ходе защиты диссертации были заданы вопросы, на которые А.О. Короткевич дал исчерпывающие ответы и высказан ряд пожеланий для дальнейшей работы. Критических замечаний высказано не было.

На заседании 09.10.2026 диссертационный совет принял решение за

разработку теоретических положений, совокупность которых можно квалифицировать как теоретическую основу для описания нелинейного взаимодействия волн в различных системах, а также имеющих важное прикладное значение, присудить Короткевичу А.О. ученую степень доктора физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 15 человек, из них 15 докторов наук по специальности 1.3.3 – теоретическая физика, участвовавших в заседании, из 13 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за – 13 , против – 0 .

Председатель

диссертационного совета № 24.1.128.01

член-корр. РАН

В.В. Лебедев

Ученый секретарь

диссертационного совета № 24.1.128.01

доктор физ.-мат. наук

В.Э. Адлер

09 октября 2026 г.



