



РФЯЦ - ВНИИЭФ
РОСАТОМ

Федеральное государственное
унитарное предприятие
**РОССИЙСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ
ЯДЕРНЫЙ ЦЕНТР**
Всероссийский
Научно-исследовательский институт
экспериментальной физики
(ФГУП «РФЯЦ – ВНИИЭФ»)

пр. Мира, д.37,
Нижегородская обл., г. Саров, 607188
Факс: 83130 29494 E-mail: staff@vniief.ru
Телетайп 151535 «Мимоза»

УТВЕРЖДАЮ

Директор ФГУП «РФЯЦ – ВНИИЭФ»

д. т. н. В. Е. Костюков

« 17 марта 2023 г.



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация Китаева Ильи Николаевича «Нелинейные явления в электростатических плазменных волнах: обратные волны, потоки частиц, двухтоновые волны и самобиения» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук выполнена в Научно-производственном центре физики Федерального государственного унитарного предприятия «Российского федерального ядерного центра - Всероссийского научно-исследовательского института экспериментальной физики» (НПЦФ ФГУП «РФЯЦ - ВНИИЭФ»). В период подготовки диссертации соискатель Китаев Илья Николаевич работал в РФЯЦ - ВНИИЭФ в должностях инженера - исследователя, младшего научного сотрудника и научного сотрудника.

В 2022 г. И. Н. Китаев окончил заочную аспирантуру РФЯЦ - ВНИИЭФ по специальности «Теоретическая физика».

Справка о сдаче кандидатских экзаменов выдана в 2023 г. РФЯЦ - ВНИИЭФ.

Научный руководитель:

- доктор физико-математических наук, доцент Дубинов Александр Евгеньевич, работает главным научным сотрудником в ФГУП «РФЯЦ - ВНИИЭФ»;

По результатам рассмотрения диссертации «Нелинейные явления в электростатических плазменных волнах: обратные волны, потоки частиц, двухтоновые волны и самобиения» принято следующее заключение:

Актуальность темы и направление исследования

Диссертационная работа Китаева Ильи Николаевича посвящена исследованию особенностей распространения электростатических волн в плазме, среди которых ленгмюровские, ионно-звуковые и пыле-акустические волны, при этом акцент исследования сделан на трёх мало изученных аспектах этих волн:

- вопросе о существовании и свойствах обратных и боковых электростатических волн в плазме;
- вопросе о существовании и свойствах потоков частиц, переносимых электростатическими волнами;
- вопросе о профилях и характере распространения электростатических волн в квантовой вырожденной плазме.

Актуальность работы обусловлена совокупностью нескольких факторов.

1) Значение и области применения обратных волн достаточно велики – это например, карсинотроны в вакуумной СВЧ-электронике и технологии маскирующих покрытий, в частности метод волнового обтекания тел. Боковые волны рассматривались в оптике кристаллов. Затрагивалась тема о существовании обратных волн в плазме. Ввиду того, что плазма обладает большим числом волновых степеней свободы, найти примеры обратных волн оказалось не так сложно. Известно, например, что ионные и электронные бернштейновские моды в замагниченной плазме имеют в своём спектре диапазоны длин волн, при которых волна имеет отрицательную групповую скорость при положительной фазовой. Однако, вопрос о существовании обратных и боковых волн для других типов плазменных волн, в частности электростатических, даже не поднимался.

2) Нелинейные теории ионно-звуковых волн, основанные на анализе эволюционных уравнений Кортевега-де-Вриза, дают существование ионных потоков в кноидальных волнах и солитонах. Однако эволюционные уравнения являются приближенными и применимы только для волн малой амплитуды, поэтому для волн произвольной амплитуды свойства потоков частиц, переносимых электростатическими волнами в плазме, исследованы недостаточно.

3) Интерес к волновым процессам в квантовой вырожденной плазме применительно к плазме твёрдого тела и к плотной плазме компактных астрофизических объектов не ослабеваает уже несколько десятилетий. Для описания нелинейных волн в квантовой вырожденной плазме обычно используются уравнения динамики частиц, включающие квантовый член Бома, уравнение состояния вырожденного газа и иногда слагаемое, описывающее обменное взаимодействие. Например, в случае ионно-звуковых волн, для решения использовались методы решения, основанные или на сведении задачи к приближённому эволюционному уравнению Кортевега-де-Вриза или на методе псевдопотенциала Сагдеева. В исследованиях, где использовались данные методы, никаких новых качественных особенностей ионно-звуковых волн в квантовой вырожденной плазме не было выявлено.

Личный вклад автора при получении результатов, представленных в диссертации

Все результаты, приведенные в диссертации, получены лично автором. Автором был осуществлен математический вывод и анализ всех формул, построение графиков. Постановка задач, обсуждение методов их решения и интерпретация полученных результатов проведены совместно с научным руководителем.

Степень достоверности результатов проведенного исследования

Достоверность полученных в диссертационной работе результатов подтверждается 14 публикациями в международных изданиях, входящих в перечень ВАК, а также 5 докладами на российских и международных конференциях.

Научная новизна полученных результатов

В главе 1 развиты теории ленгмюровских, ионно-звуковых и пыле-акустических электростатических волн в плазме, в которой имеется направленное движение одной из компонент плазмы. Впервые теоретически обоснована возможность существования электростатических обратных и боковых волн. Найдены условия их существования.

В главе 2 развиты нелинейные теории ионных и пылевых потоков, возникающих в нелинейных ионно-звуковых и пыле-акустических волнах произвольной амплитуды в плазме. Впервые теоретически показано, что при определенных условиях нелинейные ионно-звуковые волны в плазме с двумя сортами ионов могут переносить ионные потоки в противоположные стороны.

В главе 3 развиты теории ленгмюровских и ионно-звуковых волн в квантовой вырожденной плазме, а также продольных электростатических волн в квантовой электронно-дырочной плазме. Во всех случаях обнаружены двухтоновый характер волн и явление самобиений. Впервые дана интерпретация причины возникновения эффекта двухтоновости.

Научная и практическая значимость результатов исследования

Научная и практическая ценность полученных результатов может заключаться в следующем:

- доказательство существования ионно-звуковых волн даёт основу для создания плазменной лампы обратной волны ионно-звукового типа;
- обоснование возникновения контр-направленных потоков ионов в ионно-звуковых волнах в плазме с двумя сортами ионов открывает принципиальную возможность новой технологии масс-сепарации ионов в плазме;
- установление двухтонового характера электростатических волн и явления самобиений в квантовой вырожденной плазме открывает перспективу новых полупроводниковых волновых приборов.

Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем

Основные результаты диссертации отражены в следующих работах автора:

1. *Dubinov A.E., Kitaev I.N.* Non-linear Langmuir waves in a warm quantum plasma // *Physics of Plasmas*. 2014. V. 21, № 10. P. 102105 - 1–7.
2. *Dubinov A.E., Kitayev I.N.* Nonlinear multiplicative ion-plasma oscillations // *Physics of Wave Phenomena*. 2014. V. 22, № 1. P. 52–55.
3. *Dubinov A.E., Kitayev I.N.* New solutions of the Zakharov's equation system for quantum plasmas in form of nonlinear bursts lattice // *Physics of Plasmas*. 2014. V. 21. P. 022309 - 1–5.
4. *Dubinov A.E., Kitayev I.N.* Dichromatic Langmuir waves in degenerate quantum plasma // *Plasma Phys. Rep.* 2015. V. 41. № 6. P. 507–511.
5. *Dubinov A.E., Kitayev I.N.* Two-tone ion-acoustic waves in degenerate quantum plasma // *Phys. Wave Phenom.* 2015. V. 23. № 2. P. 122–128.
6. *Dubinov A.E., Kitayev I.N.* Backward dust-acoustic waves // *Physics of Plasmas*. 2016, V. 23, № 10. P. 104503 - 1–3.
7. *Dubinov A.E., Kitayev I.N.* Two-Tone nonlinear electrostatic waves in the quantum electron-hole plasma of semiconductors // *Phys. Tech. Semiconductors*. 2017. V. 51. № 1. pp. 14–17.
8. *Dubinov A.E., Kitayev I.N.* Backward ion-acoustic waves in plasma with unidirectional ion flow // *Contrib. Plasma Phys.* 2017. V. 57, № 11. P. 373–376.
9. *Dubinov A.E., Kitayev I.N.* Can Ion-Acoustic Waves in Plasma Be Backward Waves? // *Physics of Wave Phenomena*. 2017. V. 25, № 2. P. 137–139.
10. *Dubinov A.E., Kitayev I.N.* Backward and sideward waves of space charge in neutralized electron flux // *IEEE Transaction on plasma science*. 2018. V. 46, № 8. P. 2831–2833.
11. *Дубинов А. Е., Китаев И. Н.* Нелинейная теория обратных и боковых ионно-звуковых волн в плазме с однонаправленно движущимися ионами // *ЖТФ*. 2020. Т. 90. № 1. с. 53–58.
12. *Dubinov A.E., Kitayev I.N.* Nonlinear periodic backward dust acoustic waves // *Planetary and Space Science*. 2021. V. 195, № 1. P. 105142 - 1–6.
13. *Dubinov A.E., Kitayev I.N., Kolotkov D. Y.* The separation of ions and fluxes in nonlinear ion-acoustic waves // *Physics of Plasmas*. 2021. V. 28, № 8. P. 083702.
14. *Дубинов А. Е., Китаев И. Н.* Пылевые потоки в нелинейных пыле-акустических волнах в плазме // *Теплофизика высоких температур*. 2023. Т. 61, № 1. с. 11–17.

Все работы опубликованы в журналах, входящих в перечень ВАК и индексируемых в системах РИНЦ, Web of Science и Scopus. Все основные положения исследования опубликованы в указанных статьях.

Соответствие содержания диссертации паспорту специальности
«1.3.3. Теоретическая физика»

Задачи, рассмотренные в диссертации, относятся к следующим разделам паспорта специальности «1.3.3. Теоретическая физика»: «Теория конденсированного состояния. Изучение различных состояний вещества и физических явлений в них», «Теория многих взаимодействующих частиц» и «Теория неравновесных систем».


ВЫВОД. Кандидатская диссертация Китаева Ильи Николаевича «Нелинейные явления в электростатических плазменных волнах: обратные волны, потоки частиц, двухтоновые волны и самобиения» соответствует «Положению о порядке присуждения учёных степеней».

Диссертация рекомендуется к защите на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.3 «Теоретическая физика».

Заключение принято на заседании НТС Научно-производственного центра физики РФЯЦ ВНИИЭФ. Присутствовало на заседании 20 членов НТС. Результаты голосования: «за» - 20 чел., «против» - 0 чел., «воздержалось» - 0 чел., протокол № 10 от «28» сентября 2023 г.

Председатель НТС НПЦФ ФГУП «РФЯЦ ВНИИЭФ»

д. ф.-м. н., чл. корр. РАН

 В. Д. Селемир

Ученый секретарь НТС НПЦФ ФГУП «РФЯЦ ВНИИЭФ»

к. ф.-м. н.

 П. Б. Репин