АННОТАЦИЯ

к диссертационной работе Байсеитов Қасымхан Мұхтарұлы
«**Кинетические и волновые свойства кварк-глюонной плазмы**»,
представленную на соискание степени доктора философии (PhD) по
специальности «8D05306 – Физика»

Общая характеристика работы. В диссертационной работе представлены результаты исследования динамических (кинетических) и волновых свойств кварк-глюонной плазмы на основе различных моделей представления системы.

Актуальность темы. В ядерной материи при нормальных условиях кварки всегда удерживаются внутри адронов благодаря явлению конфайнмента — их невозможно наблюдать по отдельности. При экстремально высоких температурах (порядка сотни миллиардов градусов) и при очень высокой плотности ядерного вещества адроны "расплавляются" и кварки вместе с глюонами образуют коллективное состояние. Это особое состояние вещества, в котором кварки и глюоны (фундаментальные частицы сильного взаимодействия) существуют не в составе адронов (протонов, нейтронов, мезонов и т.п.), а в виде "свободного" сильно взаимодействующего вещества, называется кварк-глюонной плазмой. Такое состояние материи образовалось во Вселенной первые десятки микросекунд после Большого взрыва, в современных условиях кварк-глюонную плазму можно получить на сверхмощных ускорителях частиц, таких как Большой адронный коллайдер в ЦЕРНе.

Таким образом, изучение фундаментальных свойств КГП дает уникальную возможность воспроизвести ранние стадии эволюции Вселенной и понять, как сформировались протоны, нейтроны и атомные ядра, составляющие основу материи. В то же время КГП представляет собой состояние вещества с высокой плотностью энергии, в котором традиционные понятия о частицах и полей становятся менее применимыми. Изучение свойств КГП может пролить свет на новые аспекты физики и помочь расширить наши представления о структуре и новых фазах вещества, в которых привычные свойства частиц исчезают. К примеру, в недрах нейтронных звёзд могут существовать состояния, близкие к КГП. Современные коллайдерные эксперименты также могут быть использованы и для проверки квантовой хромодинамики — теории сильного взаимодействия, которая предсказывает при высоких энергиях и плотностях такие необычные явления как деконфайнмент, фазовые переходы и др. Поскольку, для исследования КГП создаются самые мощные уникальные ускорители (РКТИ, БАК), сложнейшие детекторы, современные методы анализа "сильновзаимодействующей жидкости", и эти технологии находят применение в смежных областях — от медицинских технологий (протонная, ионная терапии) до обработки больших данных при создании искусственного интеллекта. Изучение свойств КГП имеет важное применение при разработке новых технологий и материалов таких как термоядерная энергетика, квантовые

вычисления и др. Наконец, изучение свойств КГП чрезвычайно важно и для понимания извечного общефилософского вопроса: из чего сделана материя, какие существуют ее формы при экстремальных условиях и др.

В целом, результаты, полученные в представленной диссертации, вносят вклад в развитие фундаментальных знаний о природе материи и расширяют наше понимание физических процессов в ранние периоды эволюции Вселенной.

В связи с изложенным, становится актуальным исследование и разработка моделей взаимодействия частиц кварк-глюонной плазмы с учетом влияния различных эффектов на ее динамические и другие физические свойства.

Таким образом, данная диссертационная работа посвящена исследованию динамических (кинетических) и волновых свойств кварк-глюонной плазмы.

Цель диссертационной работы – исследование кинетических и волновых свойств кварк-глюонной плазмы на основе различных моделей взаимодействия, учитывающих как столкновительные, так и гидродинамические эффекты.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие **задачи**:

1. Проанализировать аналитические выражения для функций диэлектрического отклика (проницаемости) плазмы и на ее поверхности для различных моделей КГП.
2. Рассчитать дисперсионные соотношения для волн в плазме для различных моделей КГП.
3. Рассчитать дисперсионные соотношения для волн на границе для различных моделей КГП
4. Исследовать распространение волн в кварк-глюонной плазме в рамках различных моделей среды.

Объект исследований. Кварк-глюонная плазма при экстремально высоких температурах и плотностях.

Предмет исследований. Кинетические, гидродинамические и волновые свойства кварк-глюонной плазмы на основе различных моделей взаимодействия.

Методы исследований. При решении задач, необходимых для достижения поставленной цели, использовались следующие методы: кинетическое уравнение, метод функций линейного диэлектрического отклика, дисперсионные соотношения, численное методы решения дифференциальных, интегральных и алгебраических уравнений. Использовались эффективные модели взаимодействия частиц для расчета оптических характеристик путем определения дисперсионного соотношения.

Новизна работы. Новизна и оригинальность диссертационной работы заключаются в том, что в ней **впервые**:

- получены дисперсионные соотношения для волн в среде столкновительной и вязкостной кварк-глюонной плазмы;

- проанализировано поведение дисперсионного соотношения для волн в среде при различных модельных представлениях в длинноволновом пределе;
- получены дисперсионные соотношения для поверхностных волн в столкновительной и вязкостной кварк-глюонной плазме;
- изучено распространение волн в кварк-глюонной плазме на основе столкновительной и вязкостной моделей среды.

Положения, выносимые на защиту:

1. Столкновения в кварк-глюонной плазме ведут к уменьшению частоты продольных волн в среде для частот столкновений от $\nu = 0$ до $\nu = 0{,}4\omega_p$ для волновых чисел от $k = 0$ до $k = 4.0\omega_p$, а вязкость ведет к уменьшению частоты продольных волн в среде для частот столкновений от $\nu = 0$ до $\nu = 0{,}4\omega_p$ для волновых чисел от $k = 0$ до $k = 4.0\omega_p$.

2. При увеличении частоты столкновений частиц системы, в длинноволновом пределе частоты колебательных мод уменьшаются, что приводит к трудностям разделения зарядов в плазме. Столкновения в кварк-глюонной плазме ведут к различиям частот продольных волн в среде в длинноволновом пределе для частот столкновений от $\nu = 0$ до $\nu = 0{,}4\omega_p$.

3. На поверхности кварк-глюонной плазмы появляются дополнительные виды колебаний, обусловленные учетом столкновений частиц и вязкости среды: в столкновительной модели появляются поверхностные волны с частотами от $\omega = 0{,}6m_D$ до $\omega = 1{,}4m_D$ для волновых чисел от $k = 0$ до $k = 1{,}0m_D$, учет вязкости ведет к появления поверхностных волн с частотами от $\omega = 1{,}0\omega_p$ до $\omega = 1{,}4\omega_p$ для волновых чисел от $k = 0$ до $k = 1{,}0\omega_p$.

4. Фазовая скорость волн в среде столкновительной и вязкостной убывает в шесть и десять раз, соответственно, в диапазоне значений волновых чисел от $k = 0$ до $k = 1{,}0\omega_p$, а групповая скорость волн в среде столкновительной и вязкостной кварк-глюонной плазмы имеют меньшее значение в длинноволновом пределе для волновых чисел от $k = 0$ до $k = 2{,}0\omega_p$, что доказывает явления сильной дисперсии в длинноволновом пределе.

Теоретическая и практическая значимость исследования.

Результаты диссертационной работы представляют ценность как для понимания фундаментальных свойств материи, моделирования ранней Вселенной и астрофизических объектов, так и для практических приложений. Исследование влияния коллективных эффектов на динамические и волновые свойства КГП позволяет адекватно определить физические свойства среды, необходимые для моделирования соответствующих процессов, а также для понимания эволюции таких астрофизических объектов как нейтронные звезды, белые и коричневые карлики и планеты гиганты. Изучение столкновений ультрарелятивистских тяжелых ядер позволяет совершенствовать современные ускорительные технологии (БАК, РКТИ), которые находят широкое применение в медицине, материаловедении и ядерной энергетике. Детекторные технологии, обработка больших данных (Big Data) и развитие компьютерных методов моделирования, которые являются неотъемлемым атрибутом

экспериментов на ультрарелятивистских ускорителях, способствуют прогрессу в искусственном интеллекте.

Достоверность и обоснованность полученных результатов. В диссертационной работе использовались известные физические модели и апробированные математические методы. Также достоверность и обоснованность полученных результатов подтверждаются публикациями в журналах дальнего зарубежья с импакт-факторами и в изданиях, рекомендованных Комитетом по контролю в сфере образования и науки МОН РК, и в трудах международных научных конференций ближнего и дальнего зарубежья.

Личный вклад автора заключается в том, что весь объем диссертационной работы, выбор метода исследования, решения задач аналитически и численные расчеты выполнены автором самостоятельно на языках программирования Python, c++ и Wolfram Mathematica. Постановка задач и обсуждение результатов проводились совместно с научными консультантами.

Апробация диссертационной работы. Результаты, полученные в диссертационной работе, докладывались и обсуждались:

- на Международной конференции студентов и молодых ученых «Фараби әлемі» (2020, Алматы, Казахстан);
- на Международной конференции «Исследования неидеальной плазмы (Non-ideal plasma physics)» (2020, Москва, Россия);
- на Международной конференции «47th EPS Conference on Plasma Physics» (2021, Spain);
- на Международной конференции студентов и молодых ученых «Фараби әлемі» (2021, Алматы, Казахстан);
- на Международной конференции «17th International Conference on the Physics of Non-Ideal Plasmas (PNP-2021)» (2021, Dresden, Germany);
- на Международной конференции «International Conference on Strongly Coupled Coulomb Systems (SCCS-2022)» (2022, Gorlitz, Germany);

Статьи в журналах, входящих в Q3 и Q4 квартиль по базе данных Scopus с процентилем CiteScore.

1. Baiseitov K., Blaschke D., Ramazanov T.S. Collective bulk excitations in the QGP: From the weakly non-ideal case to the strong correlation limit // Contrib Plasma Phys. 2023. Т. 63, № 9–10. С. e202300015. doi.org/10.1002/ctpp.202300015. Q3, CiteScore 2.4, процентиль 37%.

2. Baiseitov K., Moldabekov, Z.A., Blaschke, D., Djienbekov, N., Ramazanov, T.S. Surface waves in a collisional quark-gluon plasma // Phys Part Nucl Lett. 2020. Т. 17, № 6. С. 803–808. doi.org/10.1134/S1547477120060035. Q4, CiteScore 0.7, процентиль 27%.

3. Baiseitov K., Blaschke D., Kuanyshbaiuly Ye. Phase and group velocities of waves in medium of Quark-gluon plasma // Phys. Sci. Technol. 2024. Т. 11, № 1–2. С. 102–108. DOI: 10.26577/phst2024v11i1a12. Q4, CiteScore 0.7, процентиль 24%.

Статьи в журналах, рекомендованных Комитетом по обеспечению качества в сфере науки и высшего образования МНВО РК.

4. Baiseitov K. Dielectric function of quark-gluon plasma // Bull. NAS RK. 2021. Т. 4, № 338. С. 15–24. DOI: 10.32014/2021.2518-1726.61.

5. Байсеитов К. Волны в среде вязкостной кварк-глюонной плазмы // Проблемы эволюции открытых систем. – 2024. – Т. 26, №1. – С. 3–9. DOI: 10.26577/JPEOS.2024.v26.i1-i1.

Обсуждались с профессором Д. Блашке (университет Вроцлава, Польша), профессором M.Gazdicki (ЦЕРН, Швейцария), профессором M.Bonitz (Kiel, Germany) в рамках международного сотрудничества.

Публикации. По материалам диссертационной работы опубликованы 11 печатные работы: 3 в журналах из Перечня ККСОН МОН РК для опубликования основных результатов диссертаций на соискание степени PhD и 2 статьи в журналах дальнего зарубежья с импакт-фактором, входящих в международный информационный ресурс Web of Knowledge (Thomson Reuters Clarivate Analytics, США) Scopus (Elsevier, Нидерланды); 6 работ в сборниках Международных научных конференций.

Связь темы диссертации с планами научных работ. Диссертационная работа выполнена в соответствии с планами фундаментальных и прикладных научно-исследовательских работ (НИР) КН МОН РК «Грантовое финансирование научных исследований» по темам: «Влияние кильватерного поля на динамику сильно коррелированных тяжелых частиц в классической, квантовой и ультрарелятивистской плазме» (2020-2022 гг., шифр AP08052503, госрегистрации); «Комплексные исследования по ядерной и радиационной физике, физике высоких энергий и космологии для развития конкурентных технологий» (2021-2023 гг., шифр BR10965191, госрегистрации); «Исследование фундаментальных и прикладных проблем физики плазмы, плазмоподобных сред для целей решения задач современной энергетики и получения новых функциональных материалов» (2022-2024 гг., шифр BR18574080, госрегистрации).

Объем и структура диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, 5 разделов, заключения и списка использованных источников из 147 наименования, содержит 101 страниц основного компьютерного текста, включая 24 рисунка.