

«УТВЕРЖДАЮ»

Ректор Таджикского национального
университета, д.ю.н., профессор
Насриддинзода Э.С.

«26» 09 2025 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ РАСШИРЕННОГО ЗАСЕДАНИЯ КАФЕДРЫ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ ТАДЖИКСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА

Диссертация Баладжонзода Сулаймонҷони Додарҷон на тему «Исследование вязкоупругих и акустических свойств квазисферических и полярных жидкостей» выполнена на кафедре теоретической физики Таджикского национального университета.

В период подготовки диссертации Баладжонзода Сулаймонджони Додарджон являлся докторантом (Ph.D) кафедры теоретической физики ТНУ.

Научный руководитель: доктор физико-математических наук, и.о.профессора, заведующий кафедрой общей физики Таджикского национального университета Акдодов Донаёр Мавлобахшович.

Диссертационная работа на тему «Исследование вязкоупругих и акустических свойств квазисферических и полярных жидкостей» обсуждена на расширенном заседании кафедры теоретической физики и по результатам обсуждения принято следующее заключение:

Оценка актуальности диссертационной работы.

Выполненная диссертационная работа является актуальной, направлена на решение фундаментальных и прикладных проблем теоретической физики, связанных с применением молекулярно-кинетического подхода к динамическим явлениям и раскрытию природы внутренних релаксационных процессов и установлению закономерностей их влияния на динамические вязкоупругие и акустические свойства многоатомных и полярных жидкостей в зависимости от термодинамических параметров состояния и частоты внешнего воздействия, и выполнена на высоком научном уровне.

Проведенный литературный обзор в рамках настоящей работы, показал, что вопросы, связанные с вязкоупругими и акустическими свойствами жидкостей, занимают важное место в научных исследованиях, что свидетельствует о глубоком интересе к этим темам и необходимости дальнейших разработок.

В технических и природных средах жидкости испытывают влияние различных внешних факторов, что часто приводит к нарушению их динамического равновесия. Исследования показывают, что при высокоскоростных воздействиях жидкости ведут себя иначе, чем в стабильных условиях или в условиях медленного воздействия. Например, их вязкоупругие и акустические характеристики отличаются от условий медленных или равновесных процессов. Поведение упомянутых характеристик определяется, как характером внешнего частотного воздействия, так и особенностями течения релаксационных процессов в самой жидкости. Поэтому для адекватного теоретического описания динамических свойств полярных и многоатомных жидкостей, учитывающего их молекулярную структуру и внутренние релаксационные процессы, необходимо использовать строгие методы статистической теории жидкого состояния. Такие исследования позволяют более глубоко понять механизмы, определяющие динамическое поведение жидкостей.

Таким образом, краткий анализ темы исследования подчеркивает актуальность проводимых исследований.

Личное участие автора в получении результатов, изложенных в диссертации, заключается в выборе методов и разработке алгоритмов решения поставленных задач, установлении основных закономерностей протекания динамических процессов в жидкостях, проведении численных расчетов с использованием новейших компьютерных программных средств. Обсуждения результатов диссертационной работы, их интерпретация и соответствующие заключения выполнены автором лично.

Степень достоверности результатов.

Достоверность результатов подтверждается высокой корректностью использованных аналитических выражений кинетических уравнений для одно- и двухчастичных функций распределения, уравнения для бинарной плотности типа Смолуховского, использованных потенциалов межмолекулярного взаимодействия и численных расчётов, хорошо согласующихся с экспериментальными данными и принципами общей релаксационной теории.

Научная новизна исследования заключается в том, что впервые:

-**проведены** численные расчёты коэффициента трения β , времени релаксации τ и τ_0 в зависимости от плотности, температуры и ориентации для квазисферических и полярных жидкостей при выборе потенциала межмолекулярного взаимодействия (потенциалов Ленард-Джонса и Штокмайера) и учёте модельных аспектов радиальной функции распределения молекул;

-показано, что ширина частотной дисперсии коэффициентов сдвиговой $\eta_s(\omega)$ и объемной $\eta_V(\omega)$ вязкостей, а также модулей сдвиговой $\mu(\omega)$ и объемной $K(\omega)$ упругостей определяется характером затухания релаксирующих потоков: при диффузионном законе затухания наблюдается более широкая область дисперсии ($\sim 10^5$ Гц), в то время как при экспоненциальном затухании область существенно сужается ($\sim 10^2$ Гц), что отражает различие во временной структуре релаксационных процессов;

-установлено, что при исследовании частотных зависимостей в области низких частот ($\omega\tau \ll 1$), характерной для диффузионного затухания, объёмный модуль упругости $K(\omega)$ стремится к адиабатическому пределу K_S , а сдвиговой модуль упругости $\mu(\omega)$ убывает по закону $\sim \omega^{-\frac{3}{2}}$; коэффициенты вязкости $\eta_s(\omega)$ и $\eta_V(\omega)$ в этом режиме приближаются к своим статическим значениям η_s и η_V по закону $\sim \omega^{\frac{1}{2}}$; в высокочастотной области ($\omega\tau \gg 1$) напротив, наблюдается спад вязкостей $\eta_s(\omega)$ и $\eta_V(\omega)$ пропорционально $\sim \omega^{-1}$, при этом значения модулей упругости $\mu(\omega)$ и $K(\omega)$ становятся независимыми от частоты и соответствуют высокочастотным пределам, определённым теорией Цванцига;

-показано, что при низких частотах ($\omega\tau \ll 1$) и экспоненциальном механизме релаксации модули упругости $\mu(\omega)$ и $K(\omega)$ стремятся к асимптотическим значениям, а коэффициенты сдвиговой и объемной вязкостей $\eta_s(\omega)$, $\eta_V(\omega)$ сохраняют статический характер (η_s и η_V). В области высоких частот ($\omega\tau \gg 1$) модули $\mu(\omega)$ и $K(\omega)$ становятся постоянными, а коэффициенты вязкостей $\eta_s(\omega)$, $\eta_V(\omega)$ убывают по закону $\sim \omega^{-2}$, что согласуется с положениями общей релаксационной теории;

-доказано, что во всех рассматриваемых жидкостях с квазисферическими молекулами и полярных жидкостях релаксационные процессы обусловлены взаимодействием трансляционных движений молекул и их структурной перестройкой, что определяет характер отклика жидкостей на внешнее воздействие;

-определено, что ширина частотной дисперсии скорости распространения и коэффициента поглощения акустических волн в жидкостях с квазисферическими молекулами и полярных жидкостях определяется характером затухания релаксирующих потоков: при диффузионном законе наблюдается более широкая область дисперсии ($\sim 10^5$ Гц), а при экспоненциальном затухании область существенно сужается ($\sim 10^2$ Гц), что соответствует акустическим данным, а также результатам общей релаксационной теории;

Теоретическая ценность исследования. Разработка теоретических моделей, описывающих влияние молекулярной структуры и внешних факторов (угловой ориентации молекул, температуры, плотности) на акустические свойства жидкостей способствует уточнению существующих теорий вязкоупругого поведения и распространения акустических волн в

полярных и квазисферических жидкостях, что является новым взглядом на физические свойства подобных систем.

Практическая ценность работы.

Результаты численных расчётов расширяют существующую базу данных о вязкоупругих и акустических свойствах рассмотренных типов жидкостей, что позволяет учесть их поведение в различных эксплуатационных условиях, а также установить зависимость вязкоупругих и акустических свойств этих жидкостей от их молекулярного строения и оптимизировать условия работы различных технологических цепочек и устройств.

Цель исследования.

Основной целью работы является развитие и применение метода кинетического уравнения для исследования динамических вязкостных и акустических характеристик полярных и многоатомных жидкостей с квазисферическими молекулами. В процессе исследования принимались во внимание угловые ориентации сложных молекул, а также влияние внутренних релаксационных процессов, происходящих в жидкостях в широком диапазоне изменений термодинамических параметров и частоты внешних воздействий.

Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

- получение аналитических выражений для динамических модулей упругости и коэффициентов вязкости жидкостей с учётом релаксационных процессов при условии диффузионного или экспоненциального затухания тензора напряжений;

- выбор равновесных потенциала межчастинного взаимодействия, модельно-теоретической радиальной функции распределения и коэффициента трения для многоатомных жидкостей с квазисферическими молекулами и полярных жидкостей;

- проведение численных расчетов коэффициентов сдвиговой и объемной вязкостей и соответствующих модулей сдвиговой и объемной упругостей многоатомных жидкостей с квазисферическими молекулами и полярных жидкостей в широком интервале изменения термодинамических параметров и частоты внешнего воздействия;

- исследование частотной дисперсии акустических параметров многоатомных и полярных жидкостей с учетом природы затухания релаксирующих потоков и оценка влияния типа механизма релаксации на их акустическое поведение;

- проведение численных расчетов скорости распространения и коэффициента поглощения акустических волн в широком диапазоне изменений плотности, температуры и частоты для многоатомных жидкостей с квазисферическими молекулами и полярных жидкостей.

Соответствие паспорту научной специальности.

Содержание диссертации соответствует паспорту научной специальности 6D060400 – Физика (6D060403-теоретическая физика), который утвержден Высшей аттестационной комиссией при Президенте Республики Таджикистан по следующим пунктам:

- теория конденсированного состояния макроскопических и микроскопических классических и квантовых систем. Изучение различных состояний вещества и физических явлений в них. Статистическая физика и кинетическая теория равновесных и неравновесных систем»;
- развитие теории и исследование общих свойств и законов нелинейной динамики неравновесных систем;
- моделирование физических явлений.

По материалам диссертационной работы опубликовано 16 научных трудов, в том числе 5 статей в рецензируемых журналах ВАК Республики Таджикистан, 1 статья в другом издании и 10 работ в материалах республиканских и международных конференций.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи, опубликованные в научных журналах, рекомендованных ВАК при Президенте Республики Таджикистан

[1-А] Баладжонзода, С.Д. Частотная дисперсия вязкоупругих свойств полярных жидкостей в случае экспоненциального закона затухания релаксирующих потоков / С.Одинаев, Д.М Акдодов., С.Д.Баладжонзода // Известия НАН Таджикистана. Отдел. физ.-мат., хим., геол. и тех. наук, 2024.- №1(194).-С. 41-49.

[2-А] Баладжонзода, С.Д. Структурная релаксация и вязкоупругих свойств полярных жидкостей / Д.М Акдодов., С.Д.Баладжонзода // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук, 2025.- №1.-С.126-138.

[3-А] Баладжонзода, С.Д. Численный расчет зависимости вязкоупругих свойств полярных жидкостей от параметров состояния / Д.М Акдодов., С.Д.Баладжонзода // Доклады НАН Таджикистана, 2025.-Т.68.-№4.-С.372-380.

[4-А] Баладжонзода, С.Д. Исследование зависимости вязкоупругих свойств многоатомных жидкостей от термодинамических параметров состояния / Д.М Акдодов., С.Д.Баладжонзода // Политехнический вестник. Серия: интеллект. инновации. Инвестиции. -2025. -№ 2 (70). -С.27-34.

[5-А] Баладжонзода, С.Д. Исследование акустических свойств многоатомных и полярных жидкостей /Д.М Акдодов., С.Д.Баладжонзода // Вестник Дангаринского государственного университета. Серия естественных наук. -2025. -№ 2 (31). -С.52-65.

Статьи, опубликованные в других научных журналах,

[6-А] Баладжонзода, С.Д. Исследования сдвиговой вязкости полярных жидкостей с учетом релаксационных процессов / С.Д.Баладжонзод // Молодой исследователь, 2022.-№1.-С.319-323.

Публикации в материалах научных конференций

[7-А] Баладжонзода, С.Д. Исследования вязкостных свойства полярных жидкостей от термодинамических параметров состояния / С.Д.Баладжонзод // The issue contains 6th International Scientific and Practical Conference «Science, Education, Innovation: Topical Issues and Modern Aspects». Scientific collection interconf, 2022, №104. (April 16-18, 2022). -Tallinn, -Estonia. P.250-254.

[8-А] Баладжонзода, С.Д. Хосиятҳои часпакии моеъҳои кутбӣ аз параметрҳои термодинамикии ҳолат /С.Д. Баладжонзода // Материалы Республиканской научно-практической конференции «Взаимосвязь науки с производством в процессе ускоренной индустриализации республики Таджикистан», Част 1., Душанбе, 2022, (22-23 апреля 2022г.) С.129-131.

[9-А] Баладжонзода, С.Д. Таҳқиқи коэффиенти часпакии моеъҳои кутбӣ бо саҳми равандҳои релаксационӣ / С. Одинаев, С.Д. Баладжонзода // Материалы республиканской научно-практической конференции на тему «Математические и компьютерные моделирование физических процессов» посвященной 20-летию изучения и развития естественных, точных и математических дисциплин в сфере науки и образования, Душанбе, 9 февраля 2023 года, 47-51.

[10-А] Баладжонзода, С.Д. Исследование вязкостные свойства полярных жидкостей с учетом релаксационных процессов / С. Одинаев, Д.М.Акдонов, С.Д.Баладжонзода// Сборник материалов Международной научно-практической конференции «Новые достижения в области естественных наук и информационных технологии», посвященной «Двадцатилетию изучения и развития естественных, точных и математических наук на 2020-2040 гг.». Душанбе: изд-во «РТСУ», 2023, (30 май 2023г.), с. 84-86.

[11-А] Баладжонзода, С.Д. Исследование частотной дисперсии динамических модулей упругости полярных жидкостей в случае экспоненциального закона затухания релаксирующих потоков / С. Одинаев, Д.М.Акдонов, С.Д.Баладжонзода// Материалы международной научно-практической конференции на тему «Современные проблемы физики и химии полимеров», посвященной «75-летию образования Таджикского национального университета» и «Двадцатилетию изучения и развития естественных, точных и математических наук в сфере науки и образования (2020-2040 годы)», Душанбе, 10 октября 2023, с.134-138.

[12-А] Баладжонзода, С.Д. Расчет скорости распространения звука в полярных жидкостях / Д.М.Акдонов, С.Д.Баладжонзода // Республиканскую научно-практическую конференцию «Проблемы и тенденции развития точных, математических и естественных наук», посвященной двадцатилетию изучения и развития естественных, точных и математических наук в сфере науки и образования (2020-2040 гг.). 28 мая 2024 года. с. 296-299.

[13-А] Баладжонзода С.Д. Исследование частотной дисперсии коэффициента поглощения звука полярных жидкостей / Д.М.Акдодов, С.Д.Баладжонзода // Республиканская научно-практическая конференция «Актуальные проблемы физики конденсированного состояния», посвященная 35-летию государственной независимости Республики Таджикистан и «Двадцатилетию изучения и развития естественных, точных и математических наук в сфере науки и образования», 80-летию профессора Шерматова М., 85-летию профессора Джамолова М. Худжанд. 20-21 мая 2024. с. 27-30.

[14-А] Баладжонзода, С.Д. Вязкоупругие свойства полярных жидкостей в случае степенного закона затухания релаксирующих потоков / Д.М.Акдодов, С.Д.Баладжонзода // Материалы международной научной конференции «Физические и технические науки в пространстве СНГ: проблемы и перспективы развития», 29–30 ноября 2024. с. 51-55.

[15-А] Баладжонзода, С.Д. Релаксационные процессы и вязкоупругих свойств полярных жидкостей / Д.М.Акдодов, С.Д.Баладжонзода // Материалы международной научно-практической конференции «Проблемы и перспективы развития физических наук», Худжанд, 11-12-уми март 2025. с. 226-231.

[16-А] Баладжонзода, С.Д. Зависимость вязкостных свойств многоатомных жидкостей от параметров состояния / Д.М.Акдодов, С.Д.Баладжонзода // Материалы международной научно-практической конференции на тему «Современные проблемы физики полупроводников и диэлектриков», посвящённой «Двадцатилетию изучения и развития естественных, точных и математических наук в 2020-2040гг» в области науки и образования и «35-летию кафедры физической электроники». Душанбе, 30 апреля 2025. с. 114-119.

Диссертационная работа Баладжонзода Сулаймонджони Додарджон на тему «Исследование вязкоупругих и акустических свойств квазисферических и полярных жидкостей» рекомендуется для защиты на соискание ученой степени доктор философии (Ph.D), доктора по специальности 6D060400-Физика (6D060403-теоретическая физика). Диссертационная работа рекомендуется к следующему этапу экспертизы.

На расширенном заседании на основании вышеизложенного

ПОСТАНОВИЛИ:

1. Диссертационная работа Баладжонзода Сулаймонджони Додарджон на тему «Исследование вязкоупругих и акустических свойств квазисферических и полярных жидкостей» является завершённым научным трудом и обобщает самостоятельные исследования автора. Работа выполнена на актуальную тему, которая отвечает требованиям, предъявляемым ВАК при Президенте Республики Таджикистан к ученой степени доктора философии

(Ph.D), доктор по специальности 6D060400-Физика (6D060403-теоретическая физика).

2. Рекомендовать к защите диссертационную работу Баладжонзода Сулаймонджони Додарджон на тему «Исследование вязкоупругих и акустических свойств квазисферических и полярных жидкостей» представленную на соискание ученой степени доктор философии (Ph.D), доктор по специальности 6D060400-Физика (6D060403-теоретическая физика).

На расширенном заседании присутствовали 17 человек, в том числе 7 докторов наук.

Результаты голосования:

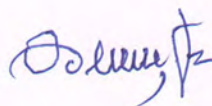
«За» - 17 чел.

«Против» - нет.

«Воздержавшихся» - нет.

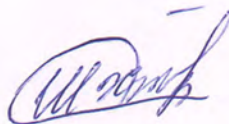
Заключение принято на расширенном заседании кафедры теоретической физики физического факультета Таджикского национального университета от 24 сентября 2025 г., протокол №2.

Председатель
зав. кафедрой теоретической
физики, к.ф.-м.н., доцент



Одилов О.Ш.

Секретарь
к.ф.-м.н.



Давлатджонова Ш.Х.

Подписи Одилова О.Ш. и Давлатджоновой Ш.Х. подтверждаю:

Начальник управления кадров
и спецчасти ТНУ



Шодихонзода Э.Ш.