

Қазақстан Республикасы,
010010, Астана қ., Қажымұқан қ., 13
тел.: +7 (7172) 70-95-00
e-mail: ipts_enu@enu.kz
www.fpt.enu.kz

Republic of Kazakhstan,
010010, Astana, 13 Kazhymukan str.
tel.: +7 (7172) 70-95-00
e-mail: ipts_enu@enu.kz
www.fpt.enu.kz

«02» 09 2025 ж. № 12-10-201-41

(немір және кіріс құжат күніне сілтеме)

Утверждаю
Директор «Института Физико-
технических наук» НАО ЕНУ им.
Л.Н. Гумилёва, к.ф.-м.н.,
Нурмолдин Е.Е.
«02» сентября 2025 г.



ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу Абдурасулова Анвара Абдурасуловича на тему «Статистическая теория релаксационных явлений и динамических процессов переноса в жидкостях с произвольными формами молекул», представленной на соискание учёной степени доктора физико-математических наук по специальности: 01.04.02 – теоретическая физика.

Актуальность темы диссертации обусловлена, особым значением исследований жидкого состояния вещества для различных аспектов деятельности. Жидкость — это среда, в которой или в присутствии которой происходят многие физические, химические, биологические и другие технологические процессы. Исследование свойств вещества в жидком состоянии актуальны и полезны при изучении широкого класса явлений от космических до биологических.

Основным и характерным свойством жидкостей является текучесть, и при использовании жидкостей в качестве рабочего материала во многих случаях на первый план выходят необходимость знания их переносных свойств. На сегодня установленный факт, что значение и свойства переносных параметров жидкостей

000042

существенно зависят и от характера динамических процессов и от структуры и свойств самих жидкостей.

Исследование закономерностей зависимости практически важных переносных параметров жидкостей от характера внешних воздействий и от особенностей природы самих жидкостей в широком диапазоне изменения термодинамических параметров состояния является актуальной задачей не только физики жидкого состояния, но и современного материаловедения вообще. Успехи в этом направлении способствуют и решению проблем создания новых жидких материалов с заданными физико-техническими свойствами.

В теоретическом аспекте жидкие системы считаются более сложными и неудобными объектами исследования, чем вещества в газовом и твёрдом кристаллическом состоянии. Несмотря на сложности и трудности проблемы авторы рецензируемой диссертационной работы взяли за исследование сложной актуальной задачи — развить молекулярно-статистическую теорию жидкого состояния, описать закономерностей зависимости переносных параметров сложных жидкостей от характера динамических процессов и от особенностей структуры жидкостей в широком диапазоне изменения температуры, плотности и давления.

Судя по представленной диссертации им удалось реализовать ряд оригинальных научных идей в рамках конкретной актуальной темы — «Статистическая теория релаксационных явлений и динамических процессов переноса в жидкостях с произвольными формами молекул», предложить последовательную, внутренне и логически связанную, научно и методически обоснованную молекулярно-статистическую теории жидкостей, состоящих из жёстких молекул произвольной формы.

Получен ряд новых и интересных результатов, имеющих большие научно-теоретические и практические значения, которые отмечены в разделах «научная новизна», «теоретические и практические значимость» диссертации. В качестве примера приведем и проанализируем некоторые из них.

1) Предложенная в диссертации более сложная модель жидкости, состоящая из жёстких молекул произвольной формы, которые имеют трансляционные и вращательные степени свободы и полученные на её основе замкнутые системы уравнений обобщённой гидродинамики для описания динамических процессов переноса и термических релаксационных явлений в сложных жидких системах, являются относительно новым и заметным шагом в развитии молекулярно-статистической теории сложных жидких систем.

Учёт вращательных степеней свободы молекул с целью обобщения результатов молекулярно-статистического подхода для описания более сложных жидких систем выполнен многими исследователями. Однако, использованная в диссертации схема обобщения результатов известного метода неравновесных функций распределения (НФР) для описания неравновесных свойств сложных жидкостей с учётом вращательных степеней свободы и угловых ориентации молекул, как единый и необходимый элемент схемы реализации целей диссертационной работы, является новым подходом.

2) Значительным увеличением числа динамических величин, характеризующих неравновесные состояния жидкой системы и более корректным использованием

угловых координат метода НФР обобщённым для описания явлений переноса и релаксации в сложных асимметричных жидкостях.

Здесь, также выбор динамических величин автором диссертации проведен не случайно, а целенаправленно для более эффективного использования исходной схемы метода НФР. Используя в качестве базового уравнения законы сохранения двух имеющихся в данной модели жидкости динамических сохраняющихся величин -- плотность число частиц и плотность внутренней энергии диссертант, с одной стороны получает возможность широко использовать математическую схему метода, с другой стороны выбирать в качестве динамических параметров состояния жидкости, связанные с законами сохранения числа частиц и внутренней энергии несохраняющихся динамических величин. В результате получают замкнутую внутренне согласованную систему уравнения баланса динамических величин, характеризующих неравновесное состояние жидкой системы, которые служат основой для определения НФР и исследования динамических процессов переноса в асимметричных жидкостях.

3) Предложенные в диссертации обобщённые формы уравнения эволюции сохраняющихся и несохраняющихся динамических величин с учётом вкладов гидродинамических и релаксационных источников, с одной стороны значительно упрощает математические операции и структуры уравнения переноса, с другой стороны позволяет описать общие и характерные свойства динамического процесса переноса в рассматриваемой модели жидкости. Например, на основе этих уравнений показано, что диффузионно-волновые механизмы переноса заложено в исходных идеях и уравнениях переноса в диссертации.

4) Один из главных результатов диссертационной работы является полученные в линейном приближении по отклонениям термодинамических параметров состояния жидкости от их равновесного значения и пренебрежением взаимного влияния диффузионных, вязкоупругих и термоупругих процессов в жидкостях замкнутые системы уравнений обобщённой гидродинамики, позволяющие исследовать динамические процессы переноса массы, импульса и момента импульса в жидких системах с произвольными формами молекул. Полученная система уравнений позволяет исследовать закономерности зависимостей динамических параметров переноса от особенностей структуры жидкостей, от характера происходящих в жидкости внутренних релаксационных процессов и от частоты внешнего возмущения в широком масштабе изменения термодинамических параметров состояния. Одним из преимуществ данной системы уравнений является их простота, компактность и удобства для использования. Не решая систему уравнений можно её упростить и использовать для исследования динамических параметров переноса в различных классах жидкостей.

Следует отметить, что все полученные в диссертации уравнения и аналитические выражения обоснованы, выводы и заключения достаточно аргументированы. Достоверность полученных результатов обеспечена использованием апробированных методов исследования, сравнением полученных результатов с результатами известных теории и с экспериментальными данными. В диссертации для достоверности полученных результатов использовались и свои подходы: - сравнение результатов исследования одного и того же параметра

полученных в разные времена и разными способами; и возможность получения известных частных результатов из общих выражений при предельных переходах.

Результаты диссертационной работы обсуждены на более чем 30 международных, региональных и республиканских научных конференциях. По результатам диссертации опубликованы 86 работ 32 из которых в рецензируемых научных журналах.

Основное содержание диссертационной работы - аналитические расчёты, выводы уравнения и их решения, анализ и оформления результатов в диссертации и в научных публикациях, выводы и заключения выполнена лично самим диссертантом.

Структура диссертации и автореферата составлена в соответствие с регламентирующими документами ВАК при Президенте Республики Таджикистан. Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка цитированной литературы. Основное содержание диссертации изложено на 253 страницах компьютерного набора, 52 рисунков и 40 таблиц. Список литературы содержит 304 ссылки.

Во введение обоснована актуальность темы, определена цели и задачи диссертационной работы. Коротко анализируется состояние научных исследований по направлению темы диссертации, приведена научная новизна, теоретическая и практическая значимость полученных результатов, вносимые к защите, положения.

В первой главе проведена анализ состояния экспериментальных и теоретических работ по исследованию явлений переноса и релаксации в однокомпонентных жидкостях. Подробно анализируются результаты молекулярно-статистического описания явлений переноса в жидкостях. Приведены основные определения и аналитические выражения, которые составляют методическую основу диссертации.

Во второй и третьей главе приведено описание используемых в диссертации основные понятия, определения, физический модель, принципы и методы исследования явлений переноса и релаксации в сложных асимметричных жидких системах. Изложена основные результаты теоретического исследования динамических процессов переноса и релаксационных явлений сложных жидкостях, состоящих из жёстких молекул произвольной формы.

Рассмотрена жидкая система, состоящая из N одинаковых жёстких молекул произвольной формы с массами m и моментом инерции I . Для описания состояния таких несферических молекул в фазовом пространстве, использован набор декартовых $(x; y; z)$ и угловых $(\theta; \psi; \varphi)$ координат, а также соответствующие им компоненты импульса и собственного момента импульса молекул. Полагается, что такие молекулы обладают поступательными и вращательными степенями свободы свойства, которые можно описать законами классической физики.

Неравновесное состояние жидкой системы описывается набором динамических величин и полагается, что закономерность изменения этих динамических величин имеет вид обобщённых законов сохранения. Методически новым и творческим подходом диссертанта здесь, является то что источники изменения динамических величин разделяются на гидродинамические и релаксационные. С учётом этого обобщённые законы сохранения для сохраняющихся и не сохраняющихся динамических величин записываются отдельно. Используется выходящие из

структуры самой теории конкретные виды гидродинамических и релаксационных источников. Такой подход позволяет автору значительно упростить и сократить математические операции, анализировать ряд важных свойств жидкостей в общем виде.

Далее на основе обобщённого автором схеме НФР Зубарева Д.Н. сформулируются замкнутые системы уравнения обобщённой гидродинамики для плотности векторов потока число частиц и тензоров вязких напряжений обусловленными трансляционными и вращательными степенями свободы молекул, а также взаимодействиями этих степеней свободы. Показано, что полученная система уравнений обобщённой гидродинамики являются более общими, относительно простыми и удобными для использования. В них содержатся многие известные в литературе результаты.

В четвёртой главе рассмотрена жидкая система, где обмен энергиями между одинаковыми степенями свободы молекул происходит гораздо быстрее чем обмен энергиями между различными степенями свободы молекул. Математически это выражается условием $\tau_t, \tau_r \ll \tau_{tr}, \tau_{tr}$. Выяснено, что в этом случае динамические процессы переноса трансляционными степенями свобода в пространстве координат и вращательными степенями свободы в пространстве углов происходят независимо друг от друга.

Предполагается, что упрощённые таким образом некоторые уравнения обобщённой гидродинамики, где определяющую роль играют трансляционные степени свободы и трансляционные релаксационные процессы, позволяют описать динамические процессы переноса в простых одноатомных жидкостях. Далее в этой главе упрощённые уравнения обобщённой гидродинамики, где определяющую роль играют трансляционные релаксационные процессы, используются для описания динамических процессов переноса массы и импульса в одноатомных жидкостях (в жидком аргоне).

Как важные результаты этой главы можно отметить следующие моменты:

- выяснено, что полученные в диссертации теоретические результаты более общие и в упрощённых формах содержат результаты теории простых жидкостей, состоящих из гладких сферических молекул;

- на основе анализа результатов численных расчётов зависимостей динамических параметров переноса жидкого аргона от изменения термодинамических параметров состояния фактически предложено две тестовых правила: а) более слабая зависимость изохорных значений параметров переноса жидкостей от температуры, чем зависимость их изобарных значений говорит об определяющей роли взаимодействия молекул в формировании характера зависимости динамических параметров переноса от термодинамических параметров состояния; б) идентичность характера температурной зависимости коэффициентов переноса и модулей упругости жидкостей указывают на определяющую роль структуры жидкостей в формировании этих зависимостей.

Релаксационные процессы только корректируют качество зависимости параметров переноса от изменения температуры и плотности, но не изменяют характер этих зависимостей.

В этой и в других главах все основные выражения приведены в удобные для проведения численных расчётов форме. Они выражены через равновесные

радиальные функции распределения молекул, потенциалы парного взаимодействия, массы и размера молекул, и могут стать основой для теоретического прогнозирования и создания жидкостей с заданными физико-техническими и другими свойствами.

В пятой главе рассмотрена жидкая система, где обмен энергия между одинаковыми степенями свободы молекул происходит медленнее чем обмен энергия между различными степенями свободы молекул ($\tau_t, \tau_r \gg \tau_{tr}, \tau_{tr}$). В этом случае для описания динамических свойств параметров переноса определяющим является перекрёстные релаксационные процессы с характерным временем релаксации τ_{tr} , но и другие релаксационные процессы вносят свой вклад.

Исследована динамический процесс переноса массы, импульса и момента импульса в неполярных (жидких азота и кислорода) и полярных (жидкого аммиака и воды) многоатомных жидкостях. С использованием потенциалов межмолекулярного взаимодействия Адхамова-Часовских (для неполярных жидкостей) и Штокмайера (для полярных жидкостей) проведена численные расчёты зависимости характерных времён релаксации, коэффициентов внутреннего трения, подвижности, диффузии, термодиффузии, сдвиговых и объёмных вязкостей, а также соответствующих им модулей упругости многоатомных жидкостей. Результаты сопоставлены с экспериментальными данными и с результатами других теории. В большинстве случаев получено хорошее соответствие.

Выявлены, возможность существования связанных с не сферичностью молекул дополнительные коэффициенты переноса и соответствующие модули упругости в многоатомных жидкостях. Выяснено, что кривые дисперсии динамических коэффициентов переноса и динамических модулей упругости многоатомных жидкостей имеют как минимум две релаксационные области.

В шестой главе приведены результаты термодинамического и молекулярно-статистического описания равновесных и неравновесных ориентационных теплофизических свойств нематических жидких кристаллов (НЖК). Более подробно исследована аномальные ориентационные свойства теплоёмкости НЖК в окрестности точки фазового перехода НЖК-ИЖ (изотропная жидкость). Предложена выражение, которое позволяет описать закономерность зависимости теплоёмкости НЖК от температуры, плотности и давления как в нематической, так и в изотропной фазах. Результаты теоретических расчётов хорошо согласуются с экспериментальными данными.

Проведено термодинамическое и молекулярно-статистическое исследование ориентационных упругих свойств НЖК при деформациях типа поперечного изгиба (splay), кручения (torsion) и продольного изгиба (band). Полученные результаты проявляют хорошие соответствия между собой и с экспериментальными данными.

Упрощённые с учётом условия $\tau_t, \tau_r \ll \tau_{tr}, \tau_{tr}$ система уравнений обобщённой гидродинамики, где определяющую роль играют вращательные релаксационные процессы, использованы для исследования динамических процессов переноса массы и момента импульса, а также вращательных релаксационных явлений в НЖК. Определены аналитические выражения и проведена численные расчёты закономерностей зависимости характерного время вращательной релаксации, коэффициентов вращательного внутреннего трения, вращательной диффузии, ориентационных вязкостей и соответствующих им динамических ориентационных модулей упругости НЖК от температуры и плотности.

В конце каждой главы приведена краткая аннотация результатов главы. Публикации достаточно отражают результаты диссертации.

Оригинальность текста диссертации и автореферата по результатам проверки на «антиплагиате» 75,02% и 78,21%, соответственно.

Направление работы соискателя Абдурасулова А.А., содержание диссертации и автореферата соответствуют пункту 1 паспорта специальности 01.04.02 - Теоретическая физика - «Теория конденсированного состояния макроскопических и микроскопических классических и квантовых систем. Исследование различных состояний вещества и физических процессов в них. Статистическая физика и кинетическая теория равновесных и неравновесных систем».

Вместе с этими в диссертации встречаются отдельные неточности, не до конца описанные предположения или выражения, некоторые стилистические, технические и грамматические ошибки. В частности:

1). В первой главе приведена подробный анализ методов кинетических уравнений и НФР. Однако не показана связь между этими двумя методами. В литературе много примеров получения разных кинетических уравнений на основе метода НФР.

2. Во второй главе использована понятия «квазисредних», «адиабатическое усключение» но дальше в диссертации нет описание и использование этих понятий.

3. Во второй главе и в диссертации вообще, используется условия статистического усреднения $\langle \dots \rangle_f = \langle \dots \rangle_L$, а при расчётах используется $\langle \dots \rangle_0$. Какие информации теряются при замене $\langle \dots \rangle_L \rightarrow \langle \dots \rangle_0$, не уточнено.

4. Полученные в третьей главе замкнутые уравнения обобщённой гидродинамики уже упрощённые. Они получены в линейном приближение по отклонениям термодинамических параметров состояния от их равновесного значения и пренебрежением влияния диффузионных, вязкоупругих, термоупругих процессов друг на друга. Было бы интересно и полезно привести хотя бы оценочные результаты учёта этих взаимодействий.

5. В четвёртой главе отмечено, что упрощённые с учётом условия $\tau_t, \tau_r \ll \tau_{tr}, \tau_{tr}$ часть уравнения обобщённой гидродинамики, где определяющую роль играют вращательные релаксационные процессы, могут быть использованы для описания ориентационных явления переноса в НЖК. В шестой главе показана, что для описание явление переноса в НЖК необходимо и учёт трансляционных релаксационных процессов. В связи с этим следовало бы привести в соответствие содержания текстов четвёртой и шестой главы.

6. В тексте и в аналитических выражениях диссертации и автореферата встречаются отдельные технические и стилистические ошибки и упущения (повторение обозначения в индексах и компонентах, тире и дефис, грамматические ошибки и т.п.)

Вышеприведённые замечания ни в коем образом не уменьшают научную и практическую значимость приведённого в диссертации огромного количества реальных научных результатов.

Автореферат диссертации подготовлен в соответствии с установленным порядком для структуры и содержания автореферата диссертации учёного степени доктора физико-математических наук, достаточно ясно отражает основное содержания диссертации. В нем приведены значимые результаты, их новизна, научная и практическая значимость.

В целом диссертационная работа Абдурасулова Анвара Абдурасуловича «Статистическая теория релаксационных явлений и динамических процессов переноса в жидкостях с произвольными формами молекул», является выполненным на высоком научном уровне, завершённым научным исследованием по конкретной актуальной теме. Содержание текста и аналитические выражения, в разделах диссертации изложены последовательно, научно и логически связано. Выводы и предложения обоснованы и аргументированы.

Полученные в диссертации результаты, как по объёму, так по научному уровню решённых в ней задач, по их теоретическому и практическому значимости соответствует требованиям Высшей аттестационной комиссии при Президенте Республики Таджикистан и автор Абдурасулов Анвар Абдурасулович достоин присуждения ему учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.02 - Теоретическая физика

Отзыв подготовлен в соответствии с пунктами 76-79 и 81 Порядка присуждения учёных степеней, утверждённых постановлением Правительства Республики Таджикистан от 30 июня 2021 года, № 267.

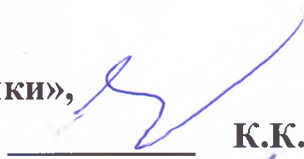
Отзыв обсуждён и утверждён на заседании кафедры «Общей и теоретической физики» Института Физико-технический наук, НАО Евразийского национального университета им. Л.Н. Гумилёва, от 28 августа 2025 года, протокол № 1

На заседание кафедры присутствовали 16 человек. Результаты голосования: За - 16, против - 0, воздержавшиеся - 0.

Председатель заседания

Зав. кафедрой «Общей и теоретической физики»,

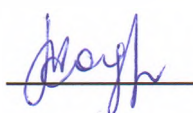
к.ф.-м.н., доктор PhD,


К.К. Ержанов

Эксперт, д.ф.-м.н., академик НАН РК


Р. Мырзакулов

Секретарь заседания, доктор PhD


А.А. Жадыранова

