

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу  
Шоайдарова Насратшо Бороншоевича «Молекулярно-статистическое  
исследование динамических вязкоупругих свойств одноатомных и  
многоатомных жидкостей», представленную на соискание учёной степени  
кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 – физика  
конденсированного состояния

Научные исследования в области молекулярно-статистической теории конденсированных систем, особенно жидкостей в Таджикистане имеет свои давние признанные традиции. Ещё во второй половине прошлого века в Душанбе под руководством академика А.А. Адхамова функционировала известная не только в СССР, но и за её пределами школа по молекулярно-кинетическому исследованию неравновесных теплофизических, кинетических и акустических свойств конденсированных систем. Основные направления и известные тенденции этой школы успешно продолжают и сегодня. Обсуждаемая диссертационная работа является результатом исследования одной ветви этой школы.

Исследование по молекулярно-кинетической теории вещества сложная и трудоёмкая работа, но позволяет проникнуть в механизм протекающих в макроскопических веществах внутренних микроскопических процессов, расширить область применения обычных термодинамических и гидродинамических методов до уровня микроскопических - молекулярно-кинетических процессов.

Жидкие системы являются самыми распространёнными и широко используемыми состояниями вещества. Многие физические, химические, биологические, геологические и другие процессы, происходят в жидких средах, или с участием жидкостей. Исследование свойства жидкостей, поэтому, способствует пониманию сущности и закономерности явлений, и в этих областях. Исследование теплофизических свойств вещества в жидком состоянии, поэтому, становятся актуальной задачей, имеющей большое научное и прикладное значение.

Основным и отличительным свойством жидкостей является их текучесть, поэтому во многих случаях использования жидкостей на первый план выходит необходимость знания вязкоупругих свойств жидкостей. Вместе с этим, при реальных условиях эксплуатации, жидкие системы подвергаются различного рода внешним воздействиям, в том числе высокоинтенсивным и высокочастотным возмущениям. Установлено, что вязкоупругие свойства жидкостей при динамических процессах существенно отличаются от этих свойств, при медленных и статических процессах. В связи с этим исследование динамических вязкоупругих свойств жидкостей при различных динамических условиях эксплуатации, становятся необходимыми и актуальными.



Рецензируемая диссертационная работа посвящена, именно, исследованию особенностей динамических вязкоупругих свойств, сложных жидких систем, при различных условиях эксплуатации.

Автор диссертации, правильно определил, что исследовать динамические вязкоупругие свойства жидкостей с учётом особенностей молекулярной структуры и механизмов, происходящих в их внутренних релаксационных процессах, возможно только на основе современных методов молекулярно-статистической теории конденсированных сред, и в качестве метода исследования выбирают известный метод неравновесных функций распределения (НФР).

В результате чёткого обоснования темы, корректного определения целей исследования, последовательного и эффективного применения современных методов исследования, выполнена конкретная завершённая научная работа по актуальной теме физики конденсированного состояния. Общие аналитические результаты упрощены и применены для описания динамических вязкоупругих свойств конкретных жидкостей (жидкого аргона, жидкого азота, жидкого кислорода, жидкого аммиака и воды). С использованием пакетов современных компьютеров результаты доведены до числа и отражены в виде таблиц и графиков, сопоставлены с экспериментальными данными и результатами известных теорий. Выводы и заключения обоснованы и соответствуют содержанию диссертации. Текст диссертации написан доступным и понятным языком, диссертация удовлетворяет требования, предъявляемым к кандидатским диссертациям.

По теме диссертации опубликованы 18 работ, 4 из которых опубликованы в журналах из перечня ВАК РФ. Публикации и автореферат достаточно полно отражают содержание диссертации.

Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения и списка цитированной литературы. Содержание диссертации изложено на 123 страницах машинописного текста, 20 рисунков и 12 таблиц. Список литературы содержит 128 ссылок.

Во введении приведено обоснование и актуальность темы диссертации, отражены цели и методы исследования. Кратко описано состояние научных исследований по теме диссертации, показана научная новизна и практическая значимость полученных результатов, отмечена аннотация содержания глав диссертации.

В первой главе приведён подробный анализ состояния экспериментальных и теоретических работ по исследованию вязкоупругих свойств жидкостей. Больше обращено внимание на анализ тех работ, в которых рассматриваются вклады релаксационных процессов в динамические вязкоупругие свойства жидкостей.

Вторая глава является определяющей. Здесь, приведена физическая модель рассматриваемых жидких систем, формулируются уравнения изменения динамических величин, характеризующих неравновесные состояния жидкой системы, определяются выражения статистических функций распределения



молекул.

Полагается, что несферические молекулы жидкости с массой  $m$  и моментом инерции  $I_{\alpha\beta}$ , обладают только поступательными и вращательными степенями свободы, состояния которых можно описать законами классической физики.

Для описания состояния несферических молекул в фазовом пространстве, используются декартовые и угловые координаты, компоненты импульса и собственного момента импульса молекул.

В приближение локально-равновесного статистического ансамбля сформулированы калорические и термические уравнения состояния и определены соответствующие модули упругости многоатомных жидкостей.

**Небольшие замечания относительно содержания второй главы:**

1) для логической полноты системы уравнения баланса динамических величин характеризующих неравновесные состояния жидкой системы можно было приводить уравнения для динамической плотности полного момента импульса молекул жидкости.

2) не описаны причины пренебрежения неиспользованных элементов и источников уравнений баланса динамических величин.

В третьей главе усреднением законов движения динамических величин, характеризующих неравновесные состояния жидкости, получена замкнутая система уравнений обобщённой гидродинамики для компонент тензоров вязких напряжений. Однако, полученная исходная система очень сложная, входящие в неё характерные времена релаксации, имеют вид тензоров четвёртого ранга.

Возможно, впервые проведен детальный анализ происходящих в подобных жидких системах термических релаксационных процессов и показано, что все входящие в систему уравнения обобщённой гидродинамики времена релаксационных процессов можно выразить через три характерные для данной жидкой системы, характерные время трансляционной ( $\tau_{tt}$ ), вращательной ( $\tau_{rr}$ ) и обменной между поступательными и вращательными степенями свободы молекул релаксационными процессами ( $\tau_{tr}$ ). Показаны молекулярные механизмы этих релаксационных процессов.

Исходя из особенностей структуры конкретных моделей жидкости, исходные уравнения приведены к более простому виду и применены для описания динамических вязкоупругих свойств конкретных жидкостей. В частности, в конце третьей главы, упрощённые для жидких систем, где обмен энергией между одинаковыми степенями свободы молекул происходит гораздо быстрее, чем обмен энергией между различными степенями свободы, результаты использованы для описания динамических вязкоупругих свойств, простых одноатомных жидкостей. Проведены численные расчёты зависимости динамических вязкоупругих параметров жидкого аргона от температуры, плотности и частоты. Здесь, из разных степеней зависимости динамических вязкоупругих параметров жидкости от температуры при фиксированных и произвольных значениях плотности делается вывод, что в определении характера зависимости динамических вязкоупругих свойств жидкостей от



температуры определяющую роль играют взаимодействия молекул жидкости.

В четвёртой главе, упрощённые для жидких систем, где обмен энергией между различными степенями свободы молекул происходит быстрее, чем обмен энергией между одинаковыми степенями свободы, результаты, применены для описания динамических вязкоупругих свойств многоатомных жидкостей. Показано, что в отличие от одноатомных жидкостей в многоатомных жидкостях, как минимум имеет место две релаксационные области с характерными временами релаксации  $\tau_{tr}$  и  $\tau_{эф}$ . Далее с предположением о превалировании вкладов трансляционной и вращательной релаксации относительно друг друга в полярных и неполярных жидкостях и выбором соответствующего потенциала межмолекулярного взаимодействия проводятся численные расчёты зависимости динамических вязкоупругих параметров неполярных многоатомных жидкостей (жидкого азота, жидкого кислорода) и полярных многоатомных жидкостей (жидкого аммиака и воды) от температуры плотности и частоты. Полученные результаты, удовлетворительно согласуются с экспериментальными данными и результатами других работ.

В качестве замечания к третьей и четвёртой главам можно сказать, что нет сопоставления и анализа выполнимости условий  $\frac{\tau_{tr}}{\tau_{tr}}, \frac{\tau_{tr}}{\tau_{tr}} \ll 1$  или  $\frac{\tau_{tr}}{\tau_{tr}}, \frac{\tau_{tr}}{\tau_{tr}} \gg 1$ , для каждой модели жидкости, хотя цифровые информации для этого в диссертации имеются.

В целом, на основе вышеприведённого обсуждения можно делать вывод, что как по объёму и качеству решённых в ней научных задач, по новизне и практической значимости полученных результатов, по адекватности использованных методов исследования и достоверности выводов и заключения, так и по числу публикаций и апробации содержания, диссертационная работа, Шоайдарова Насратшо Бороншоевича «Молекулярно-статистическое исследование динамических вязкоупругих свойств одноатомных и многоатомных жидкостей», представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 – физика конденсированного состояния, соответствует всем требованиям ВАК РФ по кандидатским диссертациям и её автор Шоайдаров Н.Б. заслуживает присуждения ему научной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 – физика конденсированного состояния.

Официальный оппонент:

кандидат физико-математических наук,  
декан естественнонаучного факультета  
Российско-Таджикского (Славянского)  
университета



Р. С. Махмадбеков

Подпись

Р. С. Махмадбегова заверяю  
Нач. ОК РТСУ



Рахимов А.А.