

**Отзыв официального оппонента о диссертации Д.Н. Герасимова
«Механика жидкости и излучение плазмы в узких диэлектрических
каналах», представленной на соискание ученой степени доктора физико-
математических наук по специальности 1.3.17. – Химическая физика,
горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества**

Диссертация Герасимова Д.Н. удовлетворяет всем требованиям Положения о присуждении ученых степеней к диссертациям на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.17. – Химическая физика, горение и взрыв, физика. В приводимом ниже отзыве приводится развернутое обоснование этого утверждения.

Актуальность избранной темы связана с малой изученностью специфических явлений в условиях сложной геометрии области, связанных с трибоэлектричеством и триболюминесценцией. Общая проблема гидродинамической люминесценции носит комплексный характер. Это приводит к необходимости отдельного рассмотрения составляющих ее частных проблем, каждая из которых имеет самостоятельное значение.

Диссертант описывает течение жидкости в пористой среде с помощью математического аппарата дробных производных. В настоящее время можно говорить о ренессансе теории дробного исчисления, созданной во второй половине 19 века российским математиком Летниковым. Основной вклад соискателя заключается в проведении оригинального исследования дробно-дифференциального уравнения диффузии. Диссертационная работа охватывает широкий спектр задач (течение жидкости в пористой среде; модель Нернста–Эйнштейна для аномальной диффузии; граничные условия на межфазной поверхности; электрическая природа свечения).

В первой главе течение жидкости в пористой среде рассматривается как частный случай аномальной диффузии (среднеквадратичное смещение есть нелинейная функция времени). Теоретическое описание строится на основе уравнения Колмогорова–Эйнштейна. Используя дробную производную, Д.Н. Герасимов выводит обобщенное уравнение конвекции - диффузии. Стандартное уравнение диффузии формально получается, как частный случай при переходе от дробных к целым производным. Однако диссертант делает важный вывод: обычная диффузия есть марковский процессом, в то время как аномальная диффузия представляет собой процесс немарковский. Д.Н. Герасимов оспаривает традицию обработки экспериментальных данных по влагосодержанию в пористой структуре на основе автоточечной

переменной Больцмана. Показано, что это приводит к нефизичному «дрейфу» профилей влагосодержания, измеренных в различные моменты времени. Гораздо более точную картину дает применение автомодельной переменной с произвольным показателем степени. Следующий логичный шаг в диссертации состоит в установлении «глобальной нелинейности» в некотором подклассе этого класса задач. Д.Н. Герасимов вначале обосновывает это заключение на простых физических рассуждениях. При больших влагосодержаниях жидкость утрачивает равновероятный выбор для последующего смещения: при движении «вперед» поры «позади» жидкости уже заняты ею, так что вероятность последующего смещения «вперед» повышается. Затем проводится математический анализ аномальной диффузии с помощью мелко-дифференциального уравнения с переменным порядком дифференцирования (в смысле Грюнвальда–Летникова).

Во второй главе детально описаны эксперименты по задаче свечения жидкости при ультразвуковом воздействии (задача сонолюминесценции) для двух реализаций: течение в узком канале и акустическая кавитация. Рассмотрен вопрос о регистрации ионизирующих излучений. На основе анализа экспериментальных данных и соответствующих расчетных аппроксимаций Д.Н. Герасимов формулирует гипотезу: в обоих случаях гидродинамическая люминесценция является следствием электрокинетических эффектов. Отсюда логически вытекает необходимость последующих экспериментов для обоснования этой гипотезы.

Третья глава посвящена описанию заявленных во второй главе эксперименты по спектроскопическому исследованию гидродинамической люминесценции. Д.Н. Герасимов изучает слаботочный разряд в жидкости, а затем проводит сопоставление с данными по люминесценции. Выполняется оценка температуры возбуждения электронных уровней аргона. Детально рассматриваются последствия электризации жидкости при ультразвуковом воздействии (при течении жидкости в узком канале и в условиях кавитации). С помощью спектроскопической диагностики изучается электризация жидкости при протекании ее через резкое сужение канала. Это явление рассматривается в рамках известного «механизма Френкеля». По экспериментальным и расчетным результатам главы диссертант делает заключение: при течении жидкости в узком канале внутри пузырьков образуется неравновесная неизотермическая плазма.

Четвертая глава посвящена теоретическому анализу неравновесных эффектов на высокотемпературной межфазной поверхности. Акцент делается на приближенные аналитические решения. Это характеризует научный стиль диссертанта: общая качественная физическая картина процесса важнее

частного численного решения. Строится фазовый портрет решений уравнения Релея при схлопывании парового пузырька. Исследуются допущения адиабатичности и постоянства массы газа внутри пузыря в процессе его колебаний. Получены уравнения, обобщающие уравнение адиабаты Пуассона. Далее Д.Н. Герасимов рассматривает молекулярно-кинетическую задачу испарения для максвелловской функции распределения по скоростям частиц, летящих к межфазной поверхности. Вначале исследуется фундаментальное аналитическое решение. Затем проводится численное моделирование задачи испарения методом молекулярной динамики. Особое внимание уделяется проверке общепринятого допущения о равновесном максвелловском спектре распределения частиц, излучаемых поверхностью. Здесь Д.Н. Герасимов приходит к следующим выводам: допущение не имеет строгого обоснования и является интуитивным (на это ранее уже указывали Анисимов и Жаховский); расчет показывает, что в данном случае допущение не выполняется. Диссертант дает оригинальную трактовку кинетическому скачку температуры вблизи поверхности испарения. Д.Н. Герасимов проводит сравнительное рассмотрение кинетических граничных условий: коэффициента конденсации и коэффициента испарения. Показано, что гипотеза идентичности обоих коэффициентов является следствием некорректной обработки экспериментальных данных. Далее Д.Н. Герасимов рассматривает взрывное вскипание жидкости на высокотемпературной поверхности.

Заключение достаточно полно подытоживает сумму полученных диссертантом теоретических и экспериментальных результатов.

Хотел бы остановиться на некоторых интересных находках диссертанта.

- Диссертантом совместно с проф. Синкевичем (работа [19] списка литературы) *a priori* введено обобщение дробной производной (стр. 9). Насколько мне известно, оно оказалось на сегодня единственным, получившим экспериментальное подтверждение.

- Интересна демонстрация «дробного аналога» закона Фика в виде релаксационного уравнения (1.6.6), стр. 31. При $\alpha=1$ имеем решение в виде экспоненты. При $\alpha \neq 1$ получаем решение в виде функции Миттаг-Лефлера.

- Отмечу возможное приложение полученных диссертантом результатов. Стандартный подход алгебраических моделей турбулентности: трение есть произведения модельного (турбулентного) коэффициента вязкости на обычную производную скорости. Метод, основанный на дробном дифференцировании, открывает другую возможность: трение есть

произведение стандартного (молекулярного) коэффициента вязкости на дробную производную скорости.

По диссертации Д.Н. Герасимова имеются следующие замечания.

- С. 7. Введение. Диссертант посвящает целый абзац качественному определению понятия «узкого канала». Для полноты следовало бы также упомянуть модифицированную модель узкого канала. Она получена теми же способами, что и стандартная модель, но использует адаптированные системы координат (вместо тривиальных).

- Рис. 1.9.1а. Обработка экспериментальных данных, формула (1.6.8). В обозначении функции Миттаг-Лефлера в знаменателе пропущено обозначение гамма-функции Эйлера

- С. 40 - 43, рис. 1.9.1, 1.9.2. Обработка экспериментальных данных с помощью автомодельной переменной Больцмана дробной степени. Отклонения от стандартного «закона одной второй» небольшие. Поэтому следовало для проверки использовать метод малой переменной: $0.55=0.5+\alpha$.

- Глава 4. Ряд авторов использует для решения уравнения Больцмана метод моментов. Однако диссертант нигде не упоминает этот метод.

Сделанные замечания не снижают ценности диссертации и не влияют на положительный отзыв оппонента

Диссертация написана подробно, текст структурирован и легко читается. Автореферат диссертации с большой полнотой отражает ее содержание. Результаты диссертации Д.Н. Герасимова прошли хорошую апробацию. Основные результаты диссертации опубликованы в трех монографиях, в учебнике, а также в 32 статьях в журналах, входящих в список Высшей аттестационной комиссии и реферативные базы «Scopus» и «Web of Science». Материалы диссертации докладывались на 13 научных конференциях

Диссертация Д.Н. Герасимова соответствует паспорту специальности «Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества» (шифр научной специальности - 1.3.17, направления исследований 1, 2)

Достоверность результатов диссертации Д.Н. Герасимова обеспечивается: описанием фильтрации жидкости в пористой среде в рамках процесса диффузии на основе анализа значительного массива экспериментальных данных; верификацией численного кода (разработанного для реализации метода молекулярной динамики) на задаче по определению плотности

жидкости с помощью данных NIST; систематическим сопоставлением полученных результатов с результатами других исследователей. Также следует отметить: приведенные в диссертации теоретические зависимости основаны на фундаментальных физических гипотезах; позволяют трактовать результаты численного эксперимента; адекватно описывают кинетический скачок температур на межфазной поверхности.

Что касается научной новизны, то следует отметить результаты, полученные диссертантом впервые: предложена теория аномальной конвективной диффузии в пространстве дробного дифференцирования переменного порядка; выдвинута и обоснована концепция физической природы гидродинамической люминесценции; обоснован факт возникновения плазмы при течении жидкости в узком канале (в отсутствие внешнего электрического поля)

У меня нет сомнений в том, что за представленную диссертацию Денис Николаевич Герасимов заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук.

Официальный оппонент:

доктор технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории нестационарных процессов Отделения ядерной транспортной энергетики Курчатовского комплекса ядерных транспортных энергетических технологий НИЦ “Курчатовский институт”

Зудин Юрий Борисович



Контактные данные:

тел.: +7(499) 196-78-62

e-mail: YZudin@gmail.com

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация:

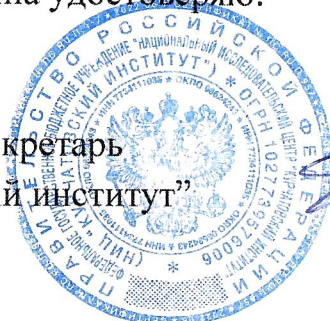
05.14.05 – «Теоретические основы теплотехники»

Адрес места работы:

123182, г. Москва, площадь Академика Курчатова, 1

Подпись Ю.Б. Зудина удостоверяю:

Главный ученый секретарь
НИЦ “Курчатовский институт”




К.Е. Борисов

06.03.2024