

ОТЗЫВ НАУЧНОГО КОНСУЛЬТАНТА

на диссертационную работу Белкина Александра Анатольевича
«Статистическая теория и моделирование процессов переноса в дисперсных жидкостях, включая наножидкости»
на соискание ученой степени доктора физико-математических наук
по специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы

Изучение течений дисперсных жидкостей, инициированное более столетия тому назад, и сегодня неизменно находится на переднем рубеже и экспериментальных и теоретических исследований. Связано это не только с широким их практическим применением в различных технологических процессах, но и с тем, что в ряде случаев все еще не удалось построить адекватных методов их описания. Это, в частности, относится к так называемым многожидкостным режимам течения дисперсных флюидов. В ряде случаев здесь не удается даже сформулировать соответствующих определяющих соотношений, не говоря уже об определении появляющихся при этом коэффициентов переноса и межфазных сил. Другим вызовом, стоящим перед современной механикой жидкости и газа, являются течения так называемых наножидкостей, процессы переноса в которых, как оказалось, не описываются классическими теориями. Наконец механика в последние несколько десятилетий столкнулась с необходимостью изучения течений в микро- и в наноканалах. Актуальность указанных проблем чрезвычайна и с прикладной точки зрения, и с точки зрения дальнейшего развития механики жидкости и газа. Во всех этих случаях применение традиционных методов механики сплошной среды не приводит к успеху. Для их последовательного изучения необходим новый инструментарий. Построению такого инструментария и его использованию и посвящена диссертационная работа А.А. Белкина.

В диссертационной работе для решения поставленных задач применяются методы неравновесной статистической механики, позволяющие из первых принципов не только строго вывести необходимые уравнения переноса, но и сформулировать соответствующие определяющие соотношения, связывающие потоки с градиентами макроскопических наблюдаемых: плотности, скорости, давления и т.д. Помимо этого, используемый подход позволяет получить явные формулы для расчета всех появляющихся коэффициентов переноса. Эти коэффициенты выражены через корреляционные функции соответствующих микроскопических потоков.

Вывод уравнений переноса, соответствующих многожидкостному уровню описания системы, основан на решении уравнения Лиувилля для N -частичной функции распределения всех частиц рассматриваемой системы, молекул несущего флюида и дисперсных частиц. Реализована итерационная процедура построения неравновесной функции распределения, позволяющая учитывать нелинейные по термодинамическим силам вклады в тензор напряжений, вектор потока тепла, межфазные силы с любой наперед заданной

точностью. Таким образом, впервые удалось построить замкнутые уравнения переноса фактически для любых течений дисперсных флюидов. Для расчета получающихся при этом коэффициентов переноса необходима информация об эволюции микроскопических состояний системы. Для моделирования этих состояний рассматриваемых многочастичных систем в данной работе используется метод молекулярной динамики (МД). С этой целью был разработан оригинальный пакет программ SibMD для моделирования коэффициентов переноса дисперсных флюидов, структуры и свойств микро- и нанотечений. Методом МД было впервые исследовано влияние наночастиц на фазовый переход жидкость–твердое тело, изучены механизмы релаксации скорости наночастиц в плотных газах и жидкостях, микрофлуктуации плотности и импульса базовой жидкости при движении наночастицы.

Важной частью диссертации является МД-моделирование коэффициентов переноса наножидкостей. Здесь получен ряд приоритетных результатов. Было показано, что диффузия наночастиц существенно отличается от диффузии обычных броуновских частиц и объясняется причина этих отличий. Впервые установлено, что эффективный коэффициент вязкости наножидкости определяется не только объемной концентрацией частиц, но и их размером и массовой плотностью материала.

Последняя часть работы посвящена исследованию специфической двухфазной среды, которую представляет собой флюид в наноканалах. Здесь впервые также из первых принципов построена неравновесная статистическая механика процессов переноса таких флюидов. Показано, что свойства переноса флюида в этом случае определяются свойствами всей системы флюид–поверхность. Проведено МД-моделирование вязкости флюида в плоском наноканале, показано, что ее можно как увеличивать, так и уменьшать, варьируя материал стенок канала.

В качестве научного консультанта я положительно характеризую личностные качества А.А. Белкина как ученого, его требовательность в получении достоверных результатов, высокую квалификацию.

Научными исследованиями по теме диссертации А.А. Белкин занимается более двадцати лет. Первые их результаты вошли в его кандидатскую диссертацию «Статистическое описание процессов переноса в дисперсных системах», защищенную в 2002 году. Дальнейшие направления исследований диссертанта определялись как тематическим планом НГАСУ (Сибстрин), так и выполнением задач, определенных проектами, поддержанными федеральными целевыми научными программами, грантами РНФ, РФФИ, Министерства образования и науки Российской Федерации.

Изложенные в диссертации результаты апробированы А.А. Белкиным на многочисленных международных и всероссийских конференциях, по теме диссертации опубликовано несколько десятков статей, 18 из которых – в изданиях, рекомендованных ВАК России. Полученные результаты хорошо известны специалистам, как у нас в стране, так и за рубежом.

Считаю, что выполненная работа соответствует критериям «Положения о присуждении ученых степеней», установленным для докторских диссертаций, а ее автор, Александр Анатольевич Белкин, заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы.

Научный консультант
заведующий кафедрой теоретической механики
федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
«Новосибирский государственный архитектурно-
строительный университет (Сибстрин)»
(630008, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, 113;
Тел.: (383) 266-41-25; E-mail: rector@sibstrin.ru; http://sibstrin.ru),
доктор физико-математических наук
(01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы),
профессор

Рудяк Валерий Яковлевич

03.03.2017

