

**ОТЗЫВ НА АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ**  
**Белкина Александра Анатольевича**  
**«Статистическая теория и моделирование процессов переноса**  
**в дисперсных жидкостях, включая наножидкости»,**  
представленной на соискание ученой степени  
доктора физико-математических наук по специальности  
01.02.05 «Механика жидкости, газа и плазмы»

Диссертация А.А. Белкина посвящена решению актуальных проблем построения замкнутой теории процессов переноса в дисперсных жидкостях и молекулярно-динамического моделирования свойств переноса наножидкостей и нанотечений.

-Актуальность работы обусловлена широким распространением дисперсных жидкостей в природе и их практическим применением в катализе, устройствах теплопередачи и теплоотвода, химических и других технологиях. Понятно и фундаментальное значение полученных теоретических положений. В частности, автор впервые строит методами неравновесной статистической механики замкнутые уравнения гидродинамики для дисперсных жидкостей, учитывающие их особенности и специфику. Особым и весьма востребованным классом дисперсных жидкостей являются наножидкости, свойства переноса которых интенсивно изучаются последние два десятилетия. Известные аппроксимации для определения коэффициентов переноса неприменимы к наножидкостям, поэтому задача изучения их свойств переноса была одной из ключевых в данной работе.

Результаты диссертации использовались при выполнении научных проектов, финансируемых Российским научным фондом, Российским фондом фундаментальных исследований, программами Министерства образования и науки Российской Федерации, что также подтверждает ее актуальность и значимость.

Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка цитируемых источников и двух приложений. К основным результатам, полученным в работе, относятся следующие:

- Построены замкнутые нелинейные многожидкостные уравнения гидромеханики дисперсных сред, определяющие соотношения для таких жидкостей и формулы для коэффициентов переноса.
- Изучена сила сопротивления, действующей на наночастицу, а также определяющие эту силу флуктуации плотности и импульса молекул несущей среды. Обнаружена вихревая структура, формируемая наночастицей и определяющая дальнейшую релаксацию ее скорости.
- Методом молекулярной динамики установлено, что сила сопротивления движению наночастиц диаметром до  $10 \div 15$  нанометров в жидкостях не описывается законом Стокса, коэффициент сопротивления является нестационарным.

- Изучена релаксация автокорреляционной функции скорости наночастицы. Определены зависимости параметров ее аппроксимации от характеристик наножидкости.
- Установлено, что коэффициент вязкости наножидкостей зависит от размера частиц и их материала.
- Построена статистическая теория процессов переноса флюида в стесненных условиях.
- Установлено, что вязкостью флюида в наноканале можно управлять, изменяя материал стенок канала.

Полученные результаты являются новыми. Их достоверность обоснована использованием адекватных математических моделей, применением эффективных вычислительных алгоритмов и проверкой работоспособности разработанных алгоритмов на тестовых задачах, сопоставлением с известными теоретическими моделями, экспериментальными данными и данными моделирования.

Результаты достаточно полно отражены в 35 печатных работах, 18 из которых опубликованы в журналах из списка ВАК РФ (из них 3 статьи в зарубежных научных журналах, индексируемых Web of Science и Scopus, 6 статей в российских научных журналах, переводные версии которых индексируются Web of Science, 9 статей в российских научных журналах, индексируемых Web of Science, Scopus и MathSciNet), прошли апробацию на международных и российских конференциях.

К автореферату диссертации есть следующие замечания:

Следует ли считать опечаткой утверждения о том, что результаты первой главы (стр. 11) и второй главы (стр.12) опубликованы только в двух работах [1,31]?

Уравнения переноса импульса для компонент смеси, приведенные в системе (1.3), выписаны в недивергентном виде. Каковы преимущества для представленных далее исследований такого вида уравнений по сравнению с дивергентным, или потоковым видом уравнений.

Несмотря на эти замечания, диссертационная работа А.А. Белкина представляет собой завершённое научное исследование, выполненное автором на высоком математическом уровне, которое ясно изложено и тщательно оформлено. В работе на основании исследований процессов переноса в дисперсных системах разработаны теоретические положения, включающие нелинейные обобщённые уравнения гидромеханики, механизмы влияния наночастиц на коэффициенты переноса наножидкостей, статистическую механику процессов переноса флюидов в стесненных условиях, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение в механике жидкости, газа и плазмы.

Диссертация соответствует требованиям п.9 «Положения о присуждении ученых степеней», а ее автор Белкин А.А. достоин присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы.

Я, Елизарова Татьяна Геннадьевна, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Белкина Александра Анатольевича, и их дальнейшую обработку.

Главный научный сотрудник  
Института прикладной математики им. М.В. Келдыша  
доктор физико-математических наук  
Отдел 11

Елизарова Татьяна Геннадьевна

29.11.2017

Подпись Елизаровой Т.Г. заверяю  
Ученый секретарь ИПМ им. М.В. Келдыша РАН  
К.ф.-м.н.



Маслов А.И.

Федеральное государственное учреждение "Федеральный исследовательский центр  
Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук"  
(ИПМ им. М.В. Келдыша РАН),  
Россия, 125047 Москва, Миусская пл. 4,  
Тел.+7 (499) 978 13 14, факс: +7 (499) 972-07-37  
E-mail: info@keldysh.ru, http://www.keldysh.ru.