

Отзыв

Официального оппонента на диссертационную работу Пхью Вэй Лин на тему «Моделирование тепло- и массопереноса и фазовых переходов в высокодисперсных системах при воздействии электромагнитного поля», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2 - «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»

Актуальность темы работы.

Диссертационная работа Пхью Вэй Лин посвящена актуальной теме - процессам нелинейного тепло-массопереноса и фазовых переходов в нано- и мезосистемах в электромагнитном поле. Такая тема актуальна в связи с активно развивающимися в настоящее время нанотехнологиями в различных областях: нано- и метаматериалах, биотехнологии, приборостроении, наноэлектронике и других. Поэтому теоретические исследования, основанные на современном математическом аппарате, а также развитие математических методов для проведения таких исследований, как это делается в данной диссертации, безусловно являются востребованными в науке и технических приложениях.

Содержание диссертации.

В диссертации имеется пять глав.

Первая глава посвящена обзору по тепло-массопереносу и фазовых переходов первого рода в дисперсных системах. Даны некоторые общие сведения о фазовых переходах первого рода. Здесь же рассмотрено парообразование чистых веществ и смесей из капилляров и капель. Обзор достаточно полный, опирается как на классические, так и на современные российские и зарубежные работы.

Во второй главе дан обзор по ряду современных математических методов, которые в последующем применяются автором для моделирования исследуемых процессов и получения оригинальных результатов в третьей, четвертой и пятой главах. Во второй главе рассмотрены динамические системы, виды энтропии, положения теории перколяции, р-адический анализ. Для проведения исследований автор привлекает методы математической физики, теорию графов. В целом диссертация написана на высоком математическом уровне.

Третья глава «Взаимодействие электромагнитных полей с нано- и мезосистемами и индуцированные эффекты» посвящена ряду эффектов, которые возникают при внешнем воздействии на дисперсную систему. В главе рассмотрены системы с нелинейными свойствами, как оптическими, так и теплофизическими. Получены условия электромагнитного резонанса для двухслойной сферической частицы и для двух близко расположенных сферических частиц. Диэлектрическая проницаемость вещества частиц предполагается зависящей от вектора электрической напряжённости квадратичным образом. Такой результат представляет самостоятельный интерес. Далее рассмотрены процессы тепло-массопереноса под воздействием тепловых источников, сформировавшихся вследствие воздействия электромагнитного поля. Показано влияние коэффициента нелинейности, от величины которого зависит квадратичный вклад электрического поля в диэлектрическую проницаемость, на температуру. Из решения уравнения типа «реакция – диффузия» показана возможность возникновения барьерного эффекта для концентрации вблизи границы раздела внутри неоднородной частицы. Для системы из двух сферических

частиц, находящихся в континуальной среде, рассмотрены различные зависимости коэффициента теплопроводности от температуры и показана возможность различных функциональных зависимостей для температуры, в том числе, её стабилизация, несмотря на большое нагревание вблизи резонанса. Автором диссертации разработан численно-аналитический метод определения температуры в таких нелинейных системах, в котором важное значение имеет выделение резонансной гармоники. Проведён вычислительный эксперимент.

В четвёртой главе «Моделирование фазовых переходов с использованием методов теории перколяции и p -адического анализа» рассмотрены фазовые переходы первого рода для дисперсных жидких частиц при различных температурах, которая определяется из уравнения теплопроводности с тепловым источником. Для рассмотрения структуры приповерхностного слоя, обусловленной парообразованием, предложена модификация перколяционного алгоритма Хошена – Копельмана. В алгоритм введено число Кнудсена и узлы трёх видов: для испаряющегося вещества, газа и вакуума. Вероятности заполнения для молекул испаряющегося вещества и молекул газа определяются с помощью функций распределения. Такой подход может оказаться полезным в дальнейшем при рассмотрении многокомпонентного приповерхностного слоя. Вероятности заполнения для молекул испаряющегося вещества и молекул газа определяются с помощью функций распределения. Автором также предлагается модель в виде древовидных графов для состояний приповерхностного слоя в зависимости от температуры. Анализ такой модели проводится в p -адическом метрическом пространстве с использованием p -адической меры Гиббса. Для оценки динамики молекулярных траекторий вследствие диффузии применяется p -адическое уравнение тепло- и массопереноса с оператором Владимирова.

В пятой главе «Алгоритмы и комплекс программ» приведены блок - схемы для разработанного в 3 главе численно-аналитического метода для определения температуры и разработанной в 4 главе модификации метода Хошена – Копельмана и дано описание разработанного комплекса программ, основные блоки которого приведены в приложениях В и Г. В данной главе приведены результаты проведённых вычислительных экспериментов на основании модификации алгоритма. Показано процентное увеличение доли больших кластеров для молекул испаряющегося вещества с ростом температуры (расчёт проведён для воды в диффузионном режиме испарения до его границы, когда начинается конвективный режим), что представляется правильным.

Степень обоснованности и достоверность научных результатов

Достоверность результатов обусловлена корректным применением аппарата указанных выше математических разделов, фундаментальных положений электродинамики, теплофизики и физической кинетики, адекватных и известных алгоритмов для проведения численного моделирования. Результаты находятся в согласии с результатами, полученными другими авторами в соответствующих предельных случаях.

Основные результаты по теме диссертации опубликованы в 11 печатных работах: 2 статьи опубликованы в журналах, рекомендованных ВАК, 1 статья проиндексирована в базе Scopus и 8 – в других журналах, материалах и тезисах докладов международных конференций. Диссертация достаточно полно апробирована: ежегодно, с 2019 по 2024 г.г. результаты докладывались на международных конференциях и научных семинарах.

Научная новизна

1. Разработана математическая модель для определения условий возникновения электромагнитного резонанса в оптически нелинейных системах, диэлектрическая проницаемость которых зависит от поля: для двухслойных сферических частиц и двух близко расположенных дисперсных частиц.

2. Разработан численно-аналитический метод определения температуры в дисперсной системе в нелинейном электромагнитном поле, особенностью которого является выделение резонансной гармоники.
3. Выявлены закономерности и особенности индуцированного теплопереноса в двухслойных мезо- и наносистемах, а также в системе с двумя сферическими частицами, взвешенными в континуальной среде, с различными оптическими и теплофизическими свойствами. В двухслойной сферической частице выявлены закономерности и особенности массопереноса вида «диффузия-реакция», обусловленного нагреванием вследствие воздействия электромагнитного поля.
4. Разработана модификация алгоритма Хошена–Копельмана, позволяющая проводить вычисления для моделирования фазовых переходов первого рода в высокодисперсных системах в приповерхностном слое. В модификацию включено число Кнудсена, а заполнение узлов или ячеек происходит с вероятностью, рассчитываемой с помощью зависящей от температуры функции распределения по скоростям.
5. Предложена модель фазового перехода для системы «жидкость-газ» в виде древовидных графов состояний, зависящих от температуры на поверхности испарения и для газовой фазы вблизи поверхности фазового перехода. С использованием построенной модели предложен подход применения р-адического анализа и модели Поттса.

Теоретическая и практическая значимость полученных результатов.

Теоретическая значимость заключается в предложении новых моделей для описания фазовых переходов на границе жидкости и газа, а также в предложенном методе определения температуры для мезо- и наносистем, находящихся в электромагнитном поле. Полученные результаты в дальнейшем могут быть использованы при проведении теоретических исследований для более сложных неоднородных дисперсных систем, в том числе при рассмотрении процессов в р-адическом метрическом пространстве.

Практическая значимость проведённого исследования заключается в том, что полученные результаты могут быть использованы в непосредственных расчётах для процессов переноса и фазовых переходов первого рода в высокодисперсных системах, находящихся в поле электромагнитного излучения, а также для управления мезо- и наноструктурами в таких системах. Исследуемая проблема имеет важное прикладное значение для таких отраслей народного хозяйства, как приборостроение, нанотехнологии и другие. Также результаты могут быть внедрены и уже частично внедрены в учебный процесс (имеется акт о внедрении).

Замечания по работе.

1. При рассмотрении задачи типа «реакция – диффузия» скорость реакции моделируется законом Аррениуса, формула (3.16). Далее отмечено, что имеются модификации данного закона. Однако, сами модификации не приведены. Вместе с тем в диссертации развивается достаточно общий подход и следовало бы указать эти модификации и провести сравнение влияния хотя бы одной модификации на величину концентрации.
2. На странице 120 приводится способ получения решения уравнения теплопроводности в бисферической системе координат для достаточно крупных частиц, когда тепловой источник не нужно усреднять по объёму частицы для получения достаточно точного решения для температуры. Однако, само решение не приведено. Следовало бы привести решение.
3. Список литературы следовало бы поместить после приложений, т.к. в приложениях могли быть даны ссылки на литературу. Однако в диссертации отсутствуют такие ссылки.

Отмеченные недостатки не снижают общего положительного впечатления от работы и не умаляют её научной и практической ценности.

Заключение

Представленная к защите диссертационная работа Пхью Вэй Лин на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук является законченной научно-квалификационной работой, в которой решалась актуальная задача моделирования фазовых переходов и нелинейного теплопереноса в мезо- и наносистемах под воздействием электромагнитного поля.

Поставленная в работе цель достигнута, а задачи, определенные в работе, выполнены в полном объеме.

Автореферат и опубликованные работы правильно отражают содержание диссертации.

Диссертационная работа «Моделирование тепло- и массопереноса и фазовых переходов в высокодисперсных системах при воздействии электромагнитного поля» соответствует паспорту специальности 1.2.2 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» по следующим пунктам:

пункт 1. Разработка новых математических методов моделирования объектов и явлений;
пункт 5. Комплексные исследования научных и технических проблем с применением современной технологии математического моделирования и вычислительного эксперимента.

Диссертационная работа на тему «Моделирование тепло- и массопереноса и фазовых переходов в высокодисперсных системах при воздействии электромагнитного поля» полностью отвечает требованиям ВАК РФ и критериям Положения о порядке присуждения ученых степеней, а ее автор Пхью Вэй Лин заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ОППОНЕНТ:

доктор физико-математических наук, профессор,
профессор кафедры высшей математики-3 ФГБОУ
ВО «МИРЭА -

Российский технологический университет»
Кадымов Вагид Ахмедович

Адрес: 119454, Москва, пр. Вернадского, 78

Тел.: +7-903-586-3134

Электронная почта: kadymov@mirea.ru

 В.А. Кадымов

30.05.2025

Подпись руки

УДОСТОВЕРЕНИЕ

Начальник Управления кадров

