

## **Аннотация дисциплины**

### **Компьютерные технологии в ядерной энергетике и теплофизике - Б1.О.05**

**Цель дисциплины:** изучение компьютерных моделей различных систем в микро- и наномире применительно к энергетике.

**Место дисциплины в структуре ОПОП:** дисциплина обязательной части блока 1 по направлению подготовки магистратуры 14.04.01 Ядерная энергетика и теплофизика. (профили: «Физика и техника низких температур», «Теплофизика и молекулярная физика», «Физико-технические проблемы атомной энергетике», «Прикладная физика плазмы и управляемый термоядерный синтез», «Нанотехнологии и наноматериалы в энергетике»). Количество зачетных единиц -4.

## **Содержание разделов**

### **1. Вычислительная физика**

Предмет вычислительной физики. Численные методы. Вычисление определенных интегралов. Решение трансцендентных уравнений. Задачи линейной алгебры. Численное интегрирование системы обыкновенных дифференциальных уравнений (схема Эйлера, Рунге-Куты). Устойчивость численной схемы. Метод Монте-Карло. Клеточные автоматы.

### **2. Компьютерное моделирование в физике.**

Численный эксперимент в задачах механики, электричества и статистической физики (задача преследования, движение в центральном поле, негармонические колебания, фазовые портреты, визуализация полей системы электрических зарядов, кинематическая модель газа и др.)

### **3. Уравнения в частных производных для сплошных сред**

Свойства уравнений математической физики. Устойчивость разностных схем для уравнений в частных производных. Уравнение диффузии: явная схема интегрирования первого порядка. Уравнение переноса: явная схема интегрирования первого порядка. Дисперсия и диффузия на разностной сетке.

### **4. Математические модели динамики наносистем**

Методы математического описания динамики взаимодействующих наночастиц. Квантовомеханические расчеты «из первых принципов». Полуэмпирические методы. Методы молекулярной динамики. Реализация методов молекулярной динамики в задачах переноса.

### **5. Модели кластерных наносистем**

Модели атомной подвижности. Структурные модели кластера. Вычисление функций распределения наночастиц в кластерах. Фрактальные кластеры.

### **6. Математическое моделирование переноса массы и заряда**

Модель переноса зарядов в материалах. Модель транспорта электронов. Модели переноса электронно-дырочных пар в полупроводниках. Модели диффузии.

### **7. Математическое моделирование переноса импульса и энергии**

Кинетическое уравнение Больцмана для носителей. Приближение времени релаксации. Простейшие решения - статическая проводимость электронно-дырочной плазмы и ее теплопроводность. Численные методы решения уравнения переноса. Метод частиц в ячейке. Приближение непрерывного торможения. Метод Монте-Карло для решения уравнения переноса.

## Аннотация дисциплины

### *Исследование поверхности в условиях вакуума и низких температур- Б1.В.02*

**Цель дисциплины:** методов анализа поверхности для последующего использования в ядерной энергетике и теплофизике..

**Место дисциплины в структуре ОПОП:** дисциплина относится к части, формируемой участниками образовательных отношений, блока 1 по направлению подготовки магистратуры 14.04.01 Ядерная энергетика и теплофизика, профиль «Нанотехнологии и наноматериалы в энергетике». Количество зачетных единиц - 8.

## Содержание разделов

### 1. Основные узлы сверхвысоко-вакуумных аналитических установок

Основные элементы установки для анализа поверхности. Вакуумная система. Вакуумные насосы. Вакуумные измерения. Манометры и вакууметры. Методы течеискания. Энергоанализаторы и электронная оптика. Основное оборудование низкотемпературных установок: компрессора, теплообменники, дроссели. Энергоанализатор с задерживающим полем. Отклоняющие электростатические энергоанализаторы. Анализатор цилиндрическое зеркало. Полусферический анализатор. Источники частиц и излучения. Вторичный электронный умножитель. Фотоэлектронный умножитель. Полупроводниковый детектор. Сцинтилляционный счетчик. Детекторы вторичных и отраженных электронов. Канальный электронный умножитель. Микроканальные пластины. Масс-спектрометры. Системы разделения ионов. Источники частиц и излучения. Электронная пушка с термоэлектронной эмиссией. Электронная пушка с полевой эмиссией. Генератор высокого напряжения. Ионные пушки. Источники ионов. Источники рентгеновского и ультрафиолетового излучения. Схема рентгеновской трубки с двумя анодами.

### 2. Методы анализа: микроскопия и спектроскопия поверхности

Электронная микроскопия. Просвечивающий электронный микроскоп (ПЭМ). Режимы работы ПЭМ. Сканирующий (растровый) электронный микроскоп. Химический анализ. Структурный анализ. Дифракция обратно рассеянных электронов. Зондовая микроскопия. Сканирующий зондовый микроскоп. Электронная спектроскопия. Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия. Оже-электронная спектроскопия. Ионная спектроскопия. Спектроскопия обратного рассеяния Резефорда. Масс-спектроскопия вторичных ионов.

### 3. Физические явления, лежащие в основе методов анализа поверхности

Пределы классического описания. Столкновение двух частиц. Потенциалы взаимодействия. Состояние электрона в атоме. Квантовая статистика. Основы физики конденсированного состояния. Зонная классификация твердых тел. Упругое рассеяние заряженных частиц. Неупругое рассеяние заряженных частиц в твердом теле. Сечения рассеяния. Дифференциальное упругое сечение рассеяния. Индикатриса рассеяния. Дифференциальное неупругое сечение рассеяния. Средняя неупругая длина свободного пробега электронов. Тормозная способность вещества. Характеристические потери энергии электронов в твердом теле. Ионизация. Потери на возбуждение плазменных колебаний. Модельные неупругие индикатрисы рассеяния. Многократное рассеяние заряженных частиц в веществе. Закон Бугера.

### 4. Послойный химический и фазовый анализ ультратонких и тонких пленок

Энергетические электронные спектры электронов. Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (РФЭС). Рентгеновский фотоэлектронный спектрометр. Рентгеновский источник. Глубина анализа. Фотоэлектронные процессы. Определение элементного состава. Обозначения пиков. Спин-орбитальное взаимодействие. Зарядка мишени. Определение относительной концентрации. Методы вычитания фона. Химический сдвиг. Профиль распределения по глубине. РФЭС с угловым разрешением. Сканирующая РФЭС.

Теоретическая интерпретация фотоэлектронных спектров. Магический угол. Профиль линии. Оже-спектроскопия (ОЭС). Сканирующий оже-микроскоп. Сравнение РФЭС и ОЭС. Варианты оже-процессов. Переход Костера-Кронига. Кинетическая энергия оже-электрона. Глубина анализа. Количественный анализ. Фазовый анализ.

#### 5. Микроскопические и спектроскопические методы анализа наноразмерных объектов

Микроскопия. Электронная микроскопия. Просвечивающий электронный микроскоп (ПЭМ). Схема ПЭМ. Механизм формирования контраста. Требования к приготовлению образцов для ПЭМ. Приготовление образцов для ПЭМ. Режимы работы ПЭМ. Сканирующий (растровый) электронный микроскоп (РЭМ). Схема РЭМ. Химический анализ. Структурный анализ. Формирование контраста. Методы обработки видеосигнала в РЭМ. Зондовая микроскопия. Сканирующий зондовый микроскоп. Сканирующий туннельный микроскоп. Атомно-силовой микроскоп. Магнитно-силовой микроскоп. Спектроскопия. Электронная спектроскопия. Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия. Оже-электронная спектроскопия. Химический анализ. Структурный анализ. Ионная спектроскопия. Спектроскопия обратного рассеяния Резефорда. Масс-спектроскопия вторичных ионов. Дифракционные методы. Малоугловое рентгеновское и нейтронное рассеяние. Применение спектроскопии для исследования нанообъектов.

#### 6. Строение и электронные свойства поверхности

Кристаллическая структура твердого тела. Основные понятия кристаллографии. Дефекты в кристаллах. Обозначения поверхностей монокристаллов и атомных структур. Атомарно чистая поверхность. Кристаллическая структура реальной поверхности. Модификация поверхности. Релаксация. Реконструкция. Структура поверхности. Сверхрешетки. Изменение межплоскостных расстояний у поверхности. Релаксация неполярных поверхностей ионных кристаллов. Влияние дефектов на структуру поверхности. Фасетирование поверхности. Физическая и химическая адсорбция. Электронные свойства поверхности твердого тела. Модельные представления потенциала на поверхности. Выбор эффективного потенциала. Теория функционала плотности. Электронная плотность. Поверхностные состояния. Работа выхода. Зоны Бриллюэна. Электронные зоны в идеальном кристалле. Дисперсионные зависимости. Поверхностная (“проектированная”) зона Бриллюэна. Тонкие пленки на поверхности твердого тела. Рост тонких плёнок. Механизмы роста пленок. Образование островковой пленки.

#### 7. Применение имитационного моделирования при исследовании поверхности

Компьютерный эксперимент. Молекулярная динамика. Схемы интегрирования по времени уравнений Ньютона. Выбор временного шага. Особенности применения метода молекулярной динамики. Применение МД для расчёта сложных систем. Метод Монте-Карло. Математические основы метода МК. Моделирование дискретных и непрерывных случайных чисел. Расчёт интегралов методом МК. Модель индивидуальных соударений. Построение стохастической траектории движение частицы. Особенности применения монте-карловского моделирования. Моделирование электронных спектров.

## **Аннотация дисциплины**

### ***Тепловые процессы в наноструктурах - Б1.В.03***

**Цель дисциплины:** изучение тепловых процессов в наносистемах и наноструктурированных материалах, приобретение навыков выполнения на этой основе инженерных расчетов для решения конкретных прикладных задач

**Место дисциплины в структуре ОПОП:** дисциплина относится к части, формируемой участниками образовательных отношений, блока 1 по направлению подготовки магистратуры 14.04.01 Ядерная энергетика и теплофизика, профиль «Нанотехнологии и наноматериалы в энергетике». Количество зачетных единиц - 8.

#### **Содержание разделов**

##### **1. Введение в теплофизику микро- и наносистем**

Тепловые процессы и их эволюция. Нагрев и утилизация тепла в микроэлектронике. Температурные градиенты внутри микро- и наноустройств. Эволюция скорости передачи данных.

##### **2. Методы охлаждения электронных устройств.**

Механизмы переноса тепла и охлаждение микроэлектронных устройств.

##### **3. Пространственные и временные масштабы при внутреннем переносе энергии и тепла.**

Характерное распределение температуры в перспективном транзисторном узле. Кремниевая наноэлектроника – проблемы охлаждения. Углеродная наноэлектроника – проблемы охлаждения. Характерные объекты нанотеплофизики: простые, сложные, контактные. Примеры характерных объектов наноструктур для изучения переноса тепла.

##### **4. Микроскопические основы термопереноса**

Происхождение носителей тепла. Кристаллическая решетка и фононы. Колебания кристаллической решетки: один и два атома в ячейке. Акустические и оптические моды в кристалле. Фононы в конденсированном теле и их основные свойства. Статистика и плотность состояний фононов. Теплоемкость кристаллической решетки. Фононная теплопроводность диэлектриков.

##### **5. Кинетика переноса тепла в наноструктурах**

Проблемы описания переноса тела с учетом размерных эффектов. Схема различных режимов переноса с учетом размерных эффектов. Теплоперенос в нанопроволоках. Кинетика описания переноса тепла в нанопроволоках. Метод вычисления теплопроводности нанопроволок. Теплопроводность нанопроволок Si: эксперименты и модели.

##### **6. Теплоперенос в нанотрубках и графене**

Теплоперенос в нанотрубках. Экспериментальные данные и модели переноса. Баллистический перенос тепла в ОСУНТ. Квантование теплопроводности нанотрубок. Квазибаллистический теплоперенос в ОСУНТ. Особенности теплопроводности металлических нанотрубок. Диффузионный перенос в ОСУНТ. Крушение закона Фурье в нанотрубках. Термическая проводимость наноматов углеродных нанотрубок. Перенос тепла в графене.

##### **7. Теплоперенос в нанокompозитах.**

Типы нанокompозитов и особенности переноса тепла в них. Микрокомпозиты и эффективная среда: модели и ограничения. Модели эффективного переноса тепла в нанокompозитах. Роль термического сопротивления на границах. Тепловые свойства нанокompозитов на основе углеродных нанотрубок и полиэтилена высокой плотности. Метод неравновесной молекулярной динамики при расчете теплопереноса в нанокompозитах.

##### **8. Теплоперенос в наножидкостях**

Общие свойства наножидкостей. Теплопроводность и конвективный перенос тепла в наножидкостях. Процессы кипения наножидкостей. Модели эффективной среды для наножидкостей. Экспериментальные данные по теплопереносу в наножидкостях.

## **9. Микро- и наногидродинамика**

Особенности гидродинамики в микро- и наномасштабах. Общие уравнения гидродинамики: вклад размерных эффектов. Граничное условие проскальзывания. Течения в плоских и каналах и каналах кругового сечения: течения Куэтта и Пуазейля с эффектами проскальзывания. Течения через мембраны с нанопорами. Течения внутри нанотрубок и полых нанопроволок. Двухфазные микро- и нанотечения. Системы и устройства с микро- и нанотечениями.

## **10. Термогидродинамика нанопереходов**

Особенности наноструктурированных поверхностей. Особенности природных мезо- и наноструктурных поверхностей. Искусственные супергидрофобные поверхности. Теоретические модели смачивания. Модель Юнга. Модели для шероховатых поверхностей: модели Венцеля и Касси-Бакстера. Современные модели смачивания супершероховатых поверхностей. Обобщенная теория контактных углов на сверхшероховатых поверхностях. Вычисление контактных углов на конкретных поверхностях. Процессы на нанощероховатых и супергидрофобных поверхностях. технологии для получения поверхности с заданными углами смачивания и растекания. Управление смачиванием, растеканием и супергидрофобностью. Супергидрофобные поверхности с нанотрубками. Нанопереходы на основе нанопроволок. Супергидрофобные поверхности с другими наноструктурами. Управление процессами смачиваемости на нанощероховатых и супергидрофобных поверхностях. Электросмачивание. Тепловое управление режимами смачиваемости. Управление электромагнитным излучением. Физика кипения на наноструктурированных поверхностях. Кипение в структуре нанопроволок. Наноструктурированные микропористые поверхности. Наноструктурированные функциональные поверхности.

## **11. Теплоперенос в термоэлектрических наноматериалах**

Общие свойства термоэлектричества. Наноматериалы в термоэлектрическом преобразовании энергии и термоэлектрическом охлаждении. Эффективность термоэлектрического преобразования. Расчет параметров переноса тепла в термоэлектрических наноматериалах.

## **12. Радиационный теплоперенос в наноструктурах**

Флуктуации электромагнитного поля как источник теплового излучения. Роль поверхностных поляритонов в формировании ближнего радиационного поля. Тепловая радиация в дальнем и ближнем поле. Особенности радиационного переноса тепла в наноструктурах. Вычисление тепловых радиационных потоков в конкретных наносистемах: между двумя плоскостями, между наночастицей и поверхностью, между двумя наночастицами.

## Аннотация дисциплины

### *Проблемы и теплофизические процессы в наноэнергетике - Б1.В.04*

**Цель дисциплины:** изучение современных методов, приемов и технологических решений на основе нанотехнологий и функциональных наноматериалов для генерации, передачи, хранения и преобразования энергии в традиционной и альтернативной энергетике, ознакомление со стратегией развития технологий в энергетическом секторе при переходе к наномасштабам и новейшими исследованиями в области наноэнергетики.

**Место дисциплины в структуре ОПОП:** дисциплина относится к части, формируемой участниками образовательных отношений, блока 1 по направлению подготовки магистратуры 14.04.01 Ядерная энергетика и теплофизика, профиль «Нанотехнологии и наноматериалы в энергетике». Количество зачетных единиц - 4.

### Содержание разделов

#### 1. Энергия и энергетика – основа современной и будущей цивилизации

Основные понятия. Цели энергетики. Глобальные проблемы человечества в XXI веке. Электроэнергетика в современной экономике. Энергетика и электрогенерирующие станции: структура и виды. Энергетические технологии и достижения. Ресурсная база энергетики. Современные энергетические технологии. Особенности электроэнергетики и электроэнергии. Электроэнергетические системы. Электроэнергетика России. Энергоемкость валового внутреннего продукта и уровень жизни. Экологические аспекты энергетики.

#### 2. Научно-технические аспекты традиционной энергетики и основные проблемы

А. Технологии теплоэнергетики. Типы тепловых электростанций. Общее представление о тепловой электростанции. Технология преобразования химической энергии природных топлив в электроэнергию. Энергетическое топливо (виды) и его сжигание. Современное оборудование теплоэнергетики. Планирование теплоснабжения городов. Технический уровень, состояние и перспективы теплоэнергетики России.

Б. Гидроэнергетика. Типы гидроэнергетических установок. Схемы использования водной энергии. Энергетическое оборудование ГЭС. Мощность ГЭС и выработка энергии. Энергия морских волн и приливов.

В. Атомная энергетика. Схема работы и оборудование атомных электростанций.

Стратегические прогнозы по нанотехнологиям и нанопroduктам. Национальные программы развития nanoиндустрии. Роль нанотехнологий в совершенствовании военной и гражданской промышленности. Перечень критических технологий Российской Федерации. Ключевые проблемы развития нанотехнологий в России. Изменение структуры валового внутреннего продукта в сторону увеличения наукоемкой продукции. Государственные и частные инвестиции в нанотехнологии.

#### 3. Технологии нетрадиционной энергетики.

А. Тенденции развития возобновляемых источников энергии. Солнечная энергетика. Солнечные коллекторы и системы теплоснабжения. Концентраторы солнечной энергии. Фотоэлектрические системы и установки. Материалы для солнечных фотоэлектрических установок.

Б. Ветроэнергетика. Принцип действия. Различные типы ветроэнергетических установок.

В. Геотермальная энергетика. Оценка ресурсов. Схема геотермального резервуара. Принцип действия геотермальных установок.

Г. Биоэнергетические установки. Виды биотоплива. Получение биодизеля и биоэтанола.

Д. Топливные элементы. Схема устройства и процессы преобразования. Области применения топливных элементов.

Е. Водородная энергетика. Получение водорода. Хранение и транспортировка водорода. Водородная экономика. Организация инфраструктуры.

Ж. Ядерная энергетика. Основные понятия. Термоядерный синтез: технологии, особенности, преимущества, проблемы и перспективы.

#### 4. Основы наноэнергетики

Базовые представления. Наномасштабы для следующей энергетической революции. Пространственные и временные масштабы явлений и процессов. Технологические особенности наноструктурированных материалов. Энергетические нанотехнологии: общий обзор.

#### 5. Наноматериалы для атомной энергетики

Применение наноматериалов в тепловыделяющих и нейтронопоглощающих элементах ядерных реакторов: технологические возможности. Нанодатчики для охраны окружающей среды. Мониторинг технологических процедур для управления качеством сборки и эксплуатации ядерных систем. Нанофильтры и мембраны для разделения сред.

#### 6. Нанотехнологии для систем хранения электрической энергии

Системы хранения электрической энергии (конденсаторы). Обычные и электролитические конденсаторы. Электрохимические суперконденсаторы. Электрохимические конденсаторы на основе нанотехнологий. Суперконденсаторы и нанотрубки. Электрохимические конденсаторы и литий-ионные батареи на основе нанопроволок. Мультифункциональная архитектура литий-ионных батарей и конденсаторов

#### 7. Нанотехнологии для водородной энергетики

А. Нанокристаллические или наномасштабные металлгидриды. Механизмы гидрирования. Термодинамика реакции, поверхностная энергия, химическая дестабилизация. Влияние поверхности на теплоту формирования. Избыток энтальпии и напряжение на границах зерен. Влияние процессов рекристаллизации. Кинетика процессов в наноструктурах. Поверхностная диссоциация, диффузия и зародыши новой фазы. Емкость хранения. Тепловое управление при гидрировании и дегидрировании.

Б. Наноматериалы для хранения водорода. Углеродные наноструктуры. Металлоорганические каркасы. Сложные металлгидриды и другие структуры. Электроды с развитой поверхностью на основе трековых мембран.

#### 8. Наноматериалы для совершенствования технологии топливных и конструкционных элементов

Основные проблемы совершенствования топливных элементов. Параметры мембранного переноса в топливных элементах. Каталитические реакции и наноконпоненты. Нанокатализаторы и наноматериалы для электродов. Ионопроводящие мембраны. Оптимизация параметров ТЭ с помощью нанотехнологий. Миниатюризация топливных элементов для специальных приложений.

#### 9. Наноматериалы для солнечной и ветровой энергетики

Повышение эффективности преобразования видимого спектра в электроэнергию. Наноматериалы для фотовольтаических элементов. Каскадные фотоэлементы. Увеличение эффективности солнечных батарей на основе процессов накопления и энергопереноса в неорганических и органических материалах с нанослоевой и кластерно-фрактальной структурой. Новые покрытия для лопастей ветроэлектростанций. Улучшение аэродинамических характеристик.

#### 10. Нанотехнологии для систем трансформации и передачи энергии

Перенос и распределение энергии. Высокопроводящие наноструктурированные сверхпрочные материалы для линий электропередач. Механические свойства наноматериалов для электроэнергетики. Нанокристаллические магнитотвердые материалы для электромагнитных систем. Наноструктурные материалы и сплавы.

## **Аннотация дисциплины**

### ***Методы диагностики наносистем и наноматериалов - Б1.В.05***

**Цель дисциплины:** изучение основ современных методов диагностики и тестирования наноматериалов и наноустройств для их использования в перспективных технологиях

**Место дисциплины в структуре ОПОП:** дисциплина относится к части, формируемой участниками образовательных отношений, блока 1 по направлению подготовки магистратуры 14.04.01 Ядерная энергетика и теплофизика, профиль «Нанотехнологии и наноматериалы в энергетике». Количество зачетных единиц - 4.

### **Содержание разделов**

#### **1. Основные понятия нанотехнологий**

Понятие нанотехнологий. Краткая история нанотехнологий. Физические основы нанотехнологии. Метрология наносистем. Примеры применения нанотехнологий

#### **2. Наноконпоненты и наноматериалы, методы их диагностики**

Основные понятия зондовой микроскопии. Зондовая микроскопия. Сканирующая зондовая микроскопия. Атомно-силовая микроскопия. Артефакты. Области применения зондовой микроскопии. Спектроскопия. Электронная микроскопия. Растровая электронная микроскопия. Просвечивающая электронная микроскопия. Рентгеновская спектроскопия (XAS, EXAFS и др.)

#### **3. Методы диагностики и тестирования наноматериалов**

Механические свойства наноматериалов и методы их анализа. Оптические свойства наноматериалов. Оптическая спектроскопия, спектрофотометры. Рамановская спектроскопия наноматериалов

#### **4. Методы исследования наноструктурных поверхностей и покрытий**

Общая классификация методов. Исследование поверхности методом ИК-Фурье спектроскопии. Рамановская спектроскопия наноматериалов. Лазерная спектроскопия. Фемто- и наносекундная спектроскопия

#### **5. Диагностика и измерения электрофизических и тепловых свойств наноматериалов**

Электрофизические свойства наноматериалов и методы их измерений. Удельное электросопротивление наноматериалов: наноконпоненты, пленки, наноконпозиты. Теплофизические свойства наноматериалов и методы их диагностики: измерение термодинамических параметров и теплопереноса в наноматериалах

#### **6. Методы сертификации и контроля наноматериалов и диагностики их функциональных свойств**

Порометрия и определение истинной поверхности. Оптический контроль (профилометрия, флуоресценция, эллипсометрия, конфокальная микроскопия). Контроль физических свойств (резистометрия, магнитные измерения). Контроль и тестирование биосовместимости и безопасности наноматериалов



## Аннотация дисциплины

### *Экономические и технологические перспективы нанотехнологий и наноматериалов - Б1.В.ДВ.01.01*

**Цель дисциплины:** изучение основных направлений развития нанотехнологий, фундаментальных и прикладных научных исследований, опытно-конструкторских разработок и о выполняемых научно-технических проектах по профилю подготовки, о практических результатах в разных отраслях науки и промышленности, в том числе в энергетике и энергетическом машиностроении, приобретение навыков выполнения на этой основе научных проектов, оформления технических заданий на выполнение научных исследований по нанотехнологическому направлению и представления результатов интеллектуальной деятельности..

**Место дисциплины в структуре ОПОП:** дисциплина по выбору относится к части, формируемой участниками образовательных отношений, блока 1 по направлению подготовки магистратуры 14.04.01 Ядерная энергетика и теплофизика, профиль «Нанотехнологии и наноматериалы в энергетике. Количество зачетных единиц - 5.

## Содержание разделов

### 1. Экономические особенности и перспективы развития нанотехнологий

А. Особенности и тенденции научно-технического развития. Классы важнейших технологий ХХIв. Нанотехнологии – ключевой фактор нового технологического уклада в экономике. Приоритетные направления развития науки и техники. Начало использования нанотехнологий в рыночных продуктах. Развитие нанонауки, нанопродуктов и нанотехнологий. Улучшение существующих технологий и принципиально новые продукты в разных отраслях: экономический эффект.

Б. Стратегические прогнозы по нанотехнологиям и нанопродуктам. Национальные программы развития наноиндустрии. Роль нанотехнологий в совершенствовании военной и гражданской промышленности. Перечень критических технологий Российской Федерации. Ключевые проблемы развития нанотехнологий в России. Изменение структуры валового внутреннего продукта в сторону увеличения наукоемкой продукции. Государственные и частные инвестиции в нанотехнологии.

### 2. Организация научных исследований в области нанотехнологий.

Определение перспективных направлений исследований и разработок в нанообласти. Формирование инфраструктуры для организации эффективных фундаментальных исследований, поиска возможных применений их результатов, развития новых нанотехнологий и их коммерциализации. Научные организации и институты, специализирующиеся на нанотехнологических разработках. Проведение маркетинга исследований и разработок. Заключение контрактов на научные и технологические разработки. Управление инновационными нанотехнологическими проектами. Особенности управления проектами с нанотехнологической доминантой. Отбор проектов. Анализ рисков. Формы финансирования проектов. Уровень технологий.

### 3. Современные и перспективные нанотехнологии и наноматериалы: технологические аспекты и области применения

А. Технологические перспективы нанотехнологий и наноматериалов по отраслям промышленности. Технологии управления свойствами материалов направленным изменением структуры. Молекулы и молекулярные ансамбли – естественный предел миниатюризации. Информационные технологии: использование нанотехнологий для повышения производительности систем передачи, обработки и хранения информации, создание новых архитектур высокопроизводительных устройств. Магнитные носители информации. Биологические принципы обработки информации.

Б. Технологические особенности наноструктурированных материалов. Неорганические наноструктурированные материалы: получение, композиты, наноструктурированная керамика, углеродные материалы, особенности механического поведения, примеры.

В. Полимерные наноструктуры: синтез, специфические свойства наноструктурированных полимерных материалов, термоэластопласты, блок-сополимерная литография, полимерные нанокомпозиты, полимерные щетки

Г. Перспективы использования нанотехнологий в электронике и оптоэлектронике. Современные транзисторы. Сверхпроводниковые квантовые компьютеры. Молекулярная электроника. Экономический эффект от использования нанотехнологий в машиностроении, в двигателестроении и автомобильной промышленности.

Д. Нанотехнологии для целей практической медицины. Бионанотехнологии. Создание высокоэффективных нанолекарственных форм и способов доставки лекарственных средств к очагу заболевания. Токсичность веществ в нанодисперсном состоянии. Магнитные наноматериалы в медицине. Магнито-жидкостная гипертермия. Нано для медицинской техники: разработка средств диагностики, проведение нетравматических операций, создание искусственных органов (конструкционные наноматериалы).

Е. Наноэнергетика. Совершенствование технологии создания топливных и конструкционных элементов. Эффективность существующего оборудования и создание альтернативной энергетике. Нанотехнологии в атомной энергетике. Новые материалы для энергетике и энергосбережения.

#### 4. Коммерциализация результатов интеллектуальной деятельности и интеллектуальная собственность в области нанотехнологий и наноматериалов.

Понятие и виды результатов интеллектуальной деятельности. Структура интеллектуальной собственности в научно-технологической сфере. Научные открытия. Объекты авторского права в научно-технической сфере. Защита результатов научных исследований и разработок в области нанотехнологий и наноматериалов. Вопросы патентования особых объектов промышленной собственности – высокотехнологичных систем, нанотехнологий, наноматериалов, нанопродуктов, нанопроцессов. Коммерциализация интеллектуальной собственности в сфере нанотехнологий.

#### 5. Мировой и российский рынок научно-технической нанопродукции.

Научно-техническая продукция и ее виды. Рынок нанотехнологий и продуктов на их основе. Оценка интеллектуальной собственности. Структура международного рынка нанотехнологической продукции. Особенности рынка изобретений. Патенты по нанотехнологиям и нано-материалам. Передача технологий (патентно-лицензионная торговля). Виды и содержание лицензионных договоров. Особенности ценообразования на научно-техническую продукцию

## **Аннотация дисциплины**

### ***Современная оптоэлектроника и нанофотоника - Б1.В.ДВ.01.02***

**Цель дисциплины:** теоретическое изучение основ современной оптоэлектроники, нанофотоники, наноплазмоники и метаматериалов в различных диапазонах спектра электромагнитных волн, их использование в перспективных технологиях

**Место дисциплины в структуре ОПОП:** дисциплина относится к части, формируемой участниками образовательных отношений, блока 1 по направлению подготовки магистратуры 14.04.01 Ядерная энергетика и теплофизика, профиль «Нанотехнологии и наноматериалы в энергетике. Количество зачетных единиц -5.

#### **Содержание разделов**

1. Электромагнитное поле в веществе.  
Квантовые ограничения. Размерные эффекты. Комплексная диэлектрическая проницаемость наноматериалов.
2. Оптические свойства металлов.  
Модель свободных электронов и формула Друде, плазменная частота. Плазмонный резонанс в искусственном металлическом кристалле. Плазмонные наноантенны, максимально достижимое значение локального электрического поля
3. Физика и технология метаматериалов.  
Электромагнитное поле в метаматериалах
4. Фотонные кристаллы.  
Фотонные материалы с запрещенной зоной. Основы фотонных кристаллов. Понятие запрещенной зоны. Распространение света в фотонных материалах с запрещенной зоной.
5. Наноплазмоника.  
Поверхностные плазмоны. Теория Друде-Зоммерфельда. Возбуждение, распространение и детектирование плазмонов. Модели Друде-Зоммерфельда, Дебая, Лоренца и Селмайера. Нанофотоника, наноплазмоника и солнечная энергетика
6. Оптоэлектроника, нанофотоника и твердотельные источники света

## **Аннотация дисциплины**

### ***Сенсоры МЭМС, НЭМС и биосенсоры - Б1.В.ДВ.02.01***

**Цель дисциплины:** теоретическое изучение современных сенсоров МЭМС, НЭМС и биосенсорах, особенностях их разработки и использования, приобретение навыков выполнения инженерных расчетов для решения конкретных прикладных задач.

**Место дисциплины в структуре ОПОП:** дисциплина относится к части, формируемой участниками образовательных отношений, блока 1 по направлению подготовки магистратуры 14.04.01 Ядерная энергетика и теплофизика, профиль «Нанотехнологии и наноматериалы в энергетике. Количество зачетных единиц - 4.

## **Содержание разделов**

### **1. Основы МЭМС. Преобразователи физических величин**

Принципы работы. Конфигурации. Свойства. МЭМС и НЭМС. Преобразователи физических величин. Прикладные задачи МЭМС.

### **2. Химические и биомедицинские сенсоры**

Принципы работы. Конфигурации. Свойства. Газовые сенсоры. Структуры на основе микро-нагревательных плит. Проблемы чувствительности, селективности и дрейфа. Чувствительность к ионам водорода. Применение ионочувствительных полевых транзисторов (ISFET). Материалы и принципы преобразования (потенциометрические, амперометрические, термические, оптические, гравиметрические). Процессы биораспознавания и иммобилизации. ISFET, ENFET (Enzyme Field-Effect Transistor – ферментный полевой транзистор), IMFET (Internally Matched Field Effect Transistor – внутренне согласованный полевой транзистор). Диагностические системы. Системы направленной доставки лекарств. Разработка тканей. Терапия и хирургические устройства с минимальным воздействием. Флуоресцентные методы. Рестрикционное расщепление. Электрофоретическая сепарация. Гибридизация. Проблемы масштабирования. Микросистемы для ПЦР, интегрированные микрочипы для анализа ДНК.

### **2. Биосенсоры и МЭМС. Микрофлюидика**

Биомедицинская наноинженерия. Тканевая инженерия и биоматериалы. Медицинская визуализация. Нейропротезирование. Биосенсоры МЭМС. Микрофлюидика. Размерности и масштабы. Методы управления потоками жидкости. Ламинарные потоки. Диффузия. Смешивание. Микрофлюидные устройства и системы. Вентили. Поверхностное натяжение. Двухфазные потоки.

### **4. Основы биосенсоров**

Биосенсоры. Определения. Биорецепторы. Преобразователи. Иммобилизация биологических компонентов. Иммунологический анализ. Взаимодействия антиген- антитело. Микрофлюидные чипы для иммуноанализа. Электрохимические биодатчики. Потенциометрические и амперометрические биодатчики. Области применения. Датчики уровня кислорода и глюкозы в крови. Оптические биодатчики. Флуоресценция. Хемилюминесценция. Колориметрический анализ уровня глюкозы. Микрочипы на основе электрохемилюминесценции. Массочувствительные детекторы.

### **5. Перспективы развития наносенсоров**

Поверхностная и объемная микрообработка. Усовершенствование технологий. Интеграция (системы на чипе), повышение точности (увеличение производительности), групповое изготовление (снижение стоимости), миниатюризация (портативность; прочность; низкое потребление энергии; простота внедрения, обслуживания и замены; снижение вреда для окружающей среды).

## **Аннотация дисциплины**

### ***Функциональные энергетические материалы - Б1.В.ДВ.02.02***

**Цель дисциплины:** изучение основ современной оптоэлектроники, нанофотоники, наноплазмоники и метаматериалов в различных диапазонах спектра электромагнитных волн, их использование в перспективных технологиях.

**Место дисциплины в структуре ОПОП:** дисциплина относится к части, формируемой участниками образовательных отношений, блока 1 по направлению подготовки магистратуры 14.04.01 Ядерная энергетика и теплофизика, профиль «Нанотехнологии и наноматериалы в энергетике». Количество зачетных единиц -4.

### **Содержание разделов**

1. Функциональные энергетические материалы. Классификация и основные направления использования
2. Функциональные энергетические наноматериалы
3. Функциональные поверхности материалов для повышения энергоэффективности
4. Функциональные материалы для традиционной энергетики. Материалы для тепловой и атомной энергетики.
5. Функциональные материалы для солнечной и ветровой энергетики
6. Функциональные материалы для хранения электрической и тепловой энергии

## Аннотация дисциплины

### *Численные методы в механике сплошных сред - Б1.В.ДВ.03.01*

**Цель дисциплины:** основных методов проведения численного эксперимента с целью определения характеристик процессов, сопровождающихся течениями в различных средах и различными осложняющими факторами: фазовыми переходами, химическими реакциями.

**Место дисциплины в структуре ОПОП:** дисциплина относится к части, формируемой участниками образовательных отношений, блока 1 по направлению подготовки магистратуры 14.04.01 Ядерная энергетика и теплофизика, профиль «Нанотехнологии и наноматериалы в энергетике». Количество зачетных единиц - 4.

## Содержание разделов

### 1. Общие сведения о численном моделировании

Предмет курса. Основные подходы к численному моделированию задач механики сплошной среды. Метод конечных разностей, метод конечных элементов, метод контрольного объема. Основные сведения об аппроксимации уравнений динамики сплошной среды. Обобщенное уравнение и его конечно-разностная аппроксимация. Структура программного комплекса для проведения моделирования.

### 2. Сетки

Сетки. Основные понятия. Структурные и неструктурные сетки и методы их построения. Сетки, связанные с геометрией объектов, находящихся в расчетной области. Критерии, определяющие качество расчетной сетки. Дробные контрольные объемы.

### 3. Метод контрольного объема

Использование метода контрольного объема для построения конечно-разностной аппроксимации обобщенного уравнения. Аппроксимация диффузионного слагаемого, методы аппроксимации конвективного слагаемого. Разностная схема вверх по потоку, гибридная разностная схема. Понятие о невязке. Явные и неявные разностные схемы. Порядок аппроксимации. Свойства разностных схем, разностные схемы высших порядков аппроксимации. Метод аппроксимации источников, линеаризация источников. Аппроксимация граничных условий.

### 4. Особенности аппроксимации уравнений гидродинамики

Особенности моделирования гидродинамических течений. Сдвинутые и совмещенные сетки при аппроксимации уравнений гидродинамики. Понятие об итерационных процедурах решения конечно-разностных уравнений гидродинамики. Критерии сходимости итераций. Итерационные процессы метода SIMPLE. Модификации метода SIMPLE: методы SIMPLER и SIMPLEST. Метод PISO. Модификации методов при использовании различных вариантов сеток. Использование интерполяции Rhie-Chow для совмещенных сеток. Методы обеспечения сходимости итераций: использование уравнений для поправок, использование различных видов релаксации. Особенности аппроксимации уравнений на неструктурных сетках с произвольной геометрией контрольных объемов.

### 5. Современные методы решения систем линейных уравнений

Методы решения систем линейных уравнений, возникающих при аппроксимации уравнений динамики сплошной среды. Прямые и итерационные методы решения линейных систем уравнений. Метод прогонки, обобщение метода прогонки: метод переменных направлений, сильно-неявный метод (метод Стоуна). Глобальные методы решения линейных

систем уравнений: метод сопряженных градиентов и его модификации, метод GMRES и другие.

#### 6. Основы моделирования физических процессов

Методы моделирования физических процессов. Особенности моделирования, вызванные учетом зависимостей свойств веществ от температуры при сопряженном теплообмене. Моделирование гидродинамических течений с учетом фазовых переходов. Метод распределенной теплоемкости, метод Пракаша.

#### 7. Моделирование турбулентных потоков

Моделирование турбулентных гидродинамических течений. Алгебраические модели турбулентности. Модель Прандтля. LVEL модель турбулентности Сполдинга. К-ε модель турбулентности. Модификации К-ε модель турбулентности, модели турбулентности при малых числах Рейнольдса. Пристенные функции. Модели RANS, URANS, LES и DES. Многожидкостные модели турбулентности. Прямое численное моделирование турбулентных течений.

#### 8. Моделирование течений, осложненных различными физическими процессами

Моделирование гидродинамических течений со свободной поверхностью. Метод маркеров и ячеек. Методы трекинга поверхности и методы расчета без выделения свободной поверхности с использованием доли жидкой фазы. Методы VOF, SEM и их модификации.

## **Аннотация дисциплины**

### ***Монодисперсные системы и технологии - Б1.В.ДВ.03.02***

**Цель дисциплины:** изучение монодисперсных систем и технологий на основе фундаментальных и прикладных работ в области генерации, распространения, взаимодействия с внешними полями и средами потоков монодисперсных микросфер, а также анализ новых технологий с применением монодисперсных систем. изучение использования информационных технологий при проектировании новых низкотемпературных систем и установок.

**Место дисциплины в структуре ОПОП:** дисциплина относится к части, формируемой участниками образовательных отношений, блока 1 по направлению подготовки магистратуры 14.04.01 Ядерная энергетика и теплофизика, профиль «Нанотехнологии и наноматериалы в энергетике. Количество зачетных единиц -4.

### **Содержание разделов**

1. Физические основы монодиспергирования вещества. Получение вещества в монодисперсном состоянии. Различные методы получения монодисперсных микросфер. Вынужденный капиллярный распад струй и потоки монодисперсных микросфер. Состояние вопроса: капиллярная гидродинамика и особенности капиллярного распада жидких струй. Диспергирование жидкостей: различные механизмы распада ограниченных объемов жидкостей

2. Термогидродинамика генерации капель при вынужденном капиллярном распаде струй. Теория капиллярной неустойчивости струй в конвективном приближении (квазиодномерная модель капиллярного распада). Основные уравнения. Основные уравнения с учетом случайного шума. Начальные условия при вынужденном капиллярном распаде. Конвективная капиллярная неустойчивость струи

3. Гидродинамика и тепломассообмен потоков монодисперсных микросфер. Монодисперсные потоки микросфер в разреженном газе и вакууме. Силы сопротивления, действующие на микросферы в разреженном газе. Монодисперсные потоки микросфер в плотном газе. Процессы испарения одиночных микросфер и их потоков

4. Основы создания монодисперсных технологий. Классификация монодисперсных технологий

5. Научное приборостроение. Калибровочные светорассеивающие частицы. Калибровочные частицы для тестирования фильтров. Дозаторы редких веществ. Криогенные ускорительные микросферические мишени

6. Новые материалы. Моногранулы из металлов и сплавов . Композиты на основе монодисперсных гранул. Проводящие клеи и пасты. Полые моногранулы из различных материалов. Металлополимерные монодисперсные гранулы .

Криомонодисперсная технология: металлические и керамические микросферы с уникальными свойствами



## **Аннотация дисциплины**

### ***Элементы и приборы нанотехнологии - Б1.В.ДВ.04.01***

**Цель дисциплины** состоит в изучении принципов действия, конструкций и материалов изделий электронной техники (ИЭТ) в нано- и микроисполнении

**Место дисциплины в структуре ОПОП:** дисциплина относится к части, формируемой участниками образовательных отношений, блока 1 по направлению подготовки магистратуры 14.04.01 Ядерная энергетика и теплофизика, профиль «Нанотехнологии и наноматериалы в энергетике. Количество зачетных единиц 4.

### **Содержание разделов**

#### **1 Введение в микро- и нанoeлектронику, нано- и микросистемную технику.**

Основные понятия и определения.

#### **2 Интегральные схемы. Классификации, базовые технологии.**

Понятие о полупроводниковых, гибридных интегральных схемах (ИС), устройствах МСТ и НСТ.

#### **3 Элементы и устройства микро- и нанoeлектроники.**

Аналоговые и цифровые СБИС. СВЧ ИС в микроэлектронном исполнении. Наноразмерные компоненты ИС

#### **4 Элементы и устройства МСТ и НСТ. Сенсорные и актюаторные устройства МСТ и НСТ.**

Принципы действия. Наноразмерные исполнительные элементы. Наноразмерные исполнительные элементы сенсорных и актюаторных устройств МСТ и НСТ, в том числе деформируемые и -недеформируемые, -композиционные слоистые, металлические, на основе сплавов

#### **5 Материалы для устройств МСТ, НСТ, нано- и микроэлектроники.**

Полупроводниковые, диэлектрические и металлические материалы. Резистивные сплавы. Слоистые композиционные материалы. Органические диэлектрики. Фоточувствительные композиции

#### **6 Основные технологии устройств МСТ и НСТ**

Технологии «сверху вниз» и «снизу вверх»

#### **7 Моделирование и проектирование**

Постановка задачи моделирования. Выбор критериев оптимизации. Постановка граничных условий. Создание библиотек свойств модели. Интерпретация результатов моделирования.

## Аннотация дисциплины

### *Математическая обработка результатов экспериментов - Б1.В.ДВ.04.02*

**Цель дисциплины:** изучение основ современной теории инженерно-физического эксперимента, ориентированное на практическое ее использование, как в исследовательских лабораториях, так и при подготовке магистерских диссертаций. Основной целью ставится практическое овладение математическими методами обработки экспериментальных данных.

**Место дисциплины в структуре ОПОП:** дисциплина относится к части, формируемой участниками образовательных отношений, блока 1 по направлению подготовки магистратуры 14.04.01 Ядерная энергетика и теплофизика, профиль «Нанотехнологии и наноматериалы в энергетике. Количество зачетных единиц - 4.

### Содержание разделов

1. Типы измерений и измерительных ошибок в лабораторных исследованиях. Измерение. Классификация измерений (прямые, косвенные, совместные). Классификация погрешностей измерения (абсолютная и относительная погрешности; систематические погрешности, вызываемые погрешностью метода; инструментальные погрешности; погрешности, вызванные воздействием окружающей среды и условий измерения, случайные погрешности, грубые погрешности (промахи)). Выявление грубых погрешностей. Систематическая погрешность. Класс точности прибора. Расчет границы полосы погрешностей. Сложение случайной и систематической погрешностей. Полная погрешность измерения. Запись и округление результата измерения. Обработка данных прямых измерений по выборке. Метод переноса погрешностей. Выборочный метод. Обработка данных косвенных измерений методом переноса погрешностей. Обработка данных косвенных измерений выборочным методом.
2. Учет случайного характера ошибок измерений. Эмпирическое распределение. Понятие о случайном событии и случайной величине. Мера случайности - вероятность. Статистические понятия: генеральная совокупность и выборка. Характеристики выборки. Выборочное среднее. Начальные и центральные моменты. Смещенные и несмещенные оценки. Выборочная дисперсия и среднееквадратичное отклонение. Эмпирическое распределение результатов наблюдений. Гистограмма. Оценка достоверности результата. Доверительный интервал. Роль нормального распределение (Гаусса) в обработке результатов эксперимента.
3. Элементы дисперсионного, корреляционного и регрессионного анализа. Метод наименьших квадратов. Методы исследования связей между случайными величинами. Классический дисперсионный анализ нормально распределенных случайных величин. Классический корреляционный анализ. Регрессионный анализ. Линейная и нелинейная статистические зависимости двух величин. Оценка коэффициентов регрессии. Метод наименьших квадратов. Нахождение параметров уравнения регрессии
4. Использование Excel для статистического анализа данных эксперимента. Графическое представление результатов измерений.

## **Аннотация дисциплины**

### ***Медицинские нанотехнологии - Б1.В.ДВ.05.01***

**Цель дисциплины** состоит в изучении основ технологических процессов для создания и использования наноразмерных биоматериалов, бисенсоров и биосистем

**Место дисциплины в структуре ОПОП:** дисциплина относится к части, формируемой участниками образовательных отношений, блока 1 по направлению подготовки магистратуры 14.04.01 Ядерная энергетика и теплофизика, профиль «Нанотехнологии и наноматериалы в энергетике. Количество зачетных единиц 3.

## **Содержание разделов**

### *1. Общие принципы структурно-функциональной организации клетки*

Цитоплазма и органеллы. Мембраны. Синтетический аппарат клетки. Энергетическое обеспечение функционирования клетки. Двигательные функции.

### *2. Ядро клетки, его компоненты и функция*

Компоненты ядра. Деление клеток. Старение и гибель клеток.

### *3. Общие принципы организации тканей*

Структурно-функциональные элементы тканей. Дифференцировка клеток. Межклеточные соединения. Классификация соединительных тканей. Форменные элементы крови.

### *4. Нано- и микроскопия*

Основы микроскопии. Основные типы микроскопов.

### *5. Бионанотехнология и наномедицина*

Использование наносистем в качестве переносчиков лекарственных средств. Многофункциональные наночастицы. Некоторые приложения нанокристаллов в детекции и диагностике.

### *6. Потенциальные риски при использовании наночастиц*

Изучение цитостатической активности исследуемых соединений. Методика культивирования клеток.

## Аннотация дисциплины

### *Процессы переноса в существенно неравновесных системах - Б1.В.ДВ.05.02*

**Цель дисциплины** состоит в изучении особенностей процессов переноса, характеризующихся значительной неравновесностью, при их реализации в соответствующих прикладных задачах и устройствах

**Место дисциплины в структуре ОПОП:** дисциплина относится к части, формируемой участниками образовательных отношений, блока 1 по направлению подготовки магистратуры 14.04.01 Ядерная энергетика и теплофизика, профиль «Нанотехнологии и наноматериалы в энергетике. Количество зачетных единиц 3.

### Содержание разделов

#### 1. Постановка задач расчета испарения и конденсации

Термические сопротивления: внешнее (газодинамическое), межфазное, пленки конденсата. Роль каждого в зависимости от интенсивности процесса.

#### 2. Методы расчета термических сопротивлений, определенных в п.1

А. Решение уравнения Больцмана во всей области, занятой газовой фазой. Б. Уравнения Навье-Стокса в газодинамической подобласти и уравнения Больцмана в слое Кнудсена. В. Уравнения сохранения массы, импульса и энергии для конденсата.

#### 3. Обзор методов решения кинетического уравнения Больцмана применительно к задачам испарения-конденсации

Линейная теория. Моментный метод решения одномерных задач. Прямое численное решение кинетического уравнения Больцмана (для разных чисел Кнудсена, многомерные задачи). Прямое статистическое моделирование. Модельные уравнения.

#### 4. Результаты исследования задач испарения-конденсации

Параметричность испарения, дозвуковой и сверхзвуковой конденсации. Предельные потоки испарения-конденсации. Инженерные соотношения для расчета испарения и конденсации в дозвуковом режиме. Диаграмма предельных потоков в сверхзвуковой области. Конденсация в присутствии неконденсируемых газов. Кривые  $q=f(\Delta T)$  для конденсации-испарения во всем диапазоне изменения интенсивностей. Рекомендации по уменьшению  $\Delta T$ . Определение итогового перепада температур от газа через межфазную поверхность, пленку конденсата, стенку теплообменника (конденсатора) охлаждающему теплоносителю. Влияние неполной конденсации на границе раздела фаз на характеристики процесса. Модели описания: коэффициенты испарения-конденсации, система кинетических уравнений для молекул газа и фононов конденсата; расчет взаимодействий молекул газа и конденсата методами молекулярной динамики; предельные скорости и предельные потоки массы.

#### 5. Решение прикладных задач

##### 5.1. Кипение сверхтекучего гелия

Кривая кипения сверхтекучего гелия. Пиковая и "восстановительная" тепловая нагрузка. Расчет "восстановительной" тепловой нагрузки по линейной теории и в общем случае. Перенос тепла через паровую пленку для нелинейных задач в одномерной и двумерной постановке. Перенос массы и энергии в ограниченной паровой области при наличии градиента температур на межфазной поверхности. Расчет эволюции паровой пленки при больших тепловых нагрузках для плоского, цилиндрического и сферического нагревателей..

##### 5.2. Процессы криовакуумирования

Роль направленности потоков при криоконденсации (десублимации). Расчет теплопереноса в области неприменимости законов градиентного типа. Примеры расчета течений, характеризующихся малыми числами Кнудсена, с учетом сильной неравновесности на межфазной границе.