

АННОТАЦИИ ПРОГРАММ УЧЕБНЫХ ДИСЦИПЛИН

### **Аннотация дисциплины**

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

**Цель дисциплины:** изучение современных компьютерных технологий: моделирования физических процессов в ядерной энергетике и физике плазмы; поиска, анализа и публикации научно-технической информации.

**Место дисциплины в структуре ОПОП ВО:** Дисциплина относится к обязательной части блока 1 дисциплин по направлению подготовки магистров 14.04.01 Ядерная энергетика и теплофизика. Количество зачётных единиц - 4.

**Содержание разделов: 1 семестр.** Компьютерные технологии для поиска и представления научно-технической информации. Использование сети Интернет для поиска учебной и научной информации. Принципы организации баз научных и справочных данных. Компьютерные технологии в обмене научной информацией. Библиографические и реферативные базы данных. Публикация научной и технической информации. Издательская система LaTeX. Установка и настройка LaTeX. Основные понятия: команды, группы, окружения, параметры. Набор формул и текста. Создание псевдорисунков, таблиц. Стили оформления документа, разбиение текста на разделы, титульный лист, оглавление. Создание форматированных списков библиографии. Создание презентаций. Компьютерные технологии для решения задач ядерной энергетике и теплофизики. Специализированные и универсальные программные продукты для научных и технических расчётов. Краткая характеристика системы MATLAB. Интерфейс и возможности системы MATLAB. Настройка рабочей среды. Объекты и команды MATLAB. Классы, свойства, методы. Типы классов. Value- и Handle-классы. События и реагирование на события. Принципы и практика создания иерархии классов. Графические объекты MATLAB: figure, axes, line. Создание графического интерфейса пользователя (GUI Matlab). Компилятор MATLAB. Основы работы с Компилятором MATLAB. Технология использования математических возможностей MATLAB для решения инженерных и научных задач. Инструментарий MATLAB-а. Компьютерный эксперимент. Этапы проведения компьютерного эксперимента. Имитационное моделирование в ядерной энергетике и теплофизики. Численное моделирование методом частиц. Молекулярная динамика (МД). Метод Монте-Карло (МК). Моделирование плазмы. Бесстолкновительные модели плазмы. МД моделирование твердого тела, жидкости и фазовых превращений. Моделирование взаимодействия заряженных частиц с твердым телом. Численное решение уравнения переноса частиц в веществе. МК моделирование отражения заряженных частиц (электронов, ионов) от мишеней из конструкционных материалов ядерной энергетике. Программы МК моделирования электронов и ионов в твердом теле.

### **Аннотация дисциплины**

#### ***Теплообмен и гидродинамика в термоядерных установках – Б1.В.01***

**Цель дисциплины:** изучение теплогидравлических процессов и методов их моделирования в задачах термоядерной и ядерной энергетике.

**Место дисциплины в структуре ОПОП ВО:** Дисциплина относится к части формируемой участниками образовательных отношений блока 1 дисциплин по направлению подготовки магистров 14.04.01 Ядерная энергетика и теплофизика. Количество зачётных единиц - 6.

**Содержание разделов: 2 семестр.** Термоядерные экспериментальные установки и реакторы. Системы охлаждения и термостабилизации. Перспективы развития энергетике. Возможности использования энергии термоядерного синтеза. Управляемый термоядерный синтез (УТС). Концепции УТС. Классификация термоядерных реакторов. Термоядерные экспериментальные установки. Возможности применения термоядерных источников нейтронов. Гибридные реакторы. Гидравлическая система охлаждения реактора ИТЭР. Теплофизические задачи охла-

ждения и термостабилизации элементов конструкций термоядерных реакторов и установок. Режимы течения и теплообмена. Особенности течения и теплообмена в термоядерных реакторах и установках. Методы интенсификации теплообмена и критических тепловых нагрузок при кипении. Закономерности течения жидкостей и газов. Конвективный теплообмен в однофазной среде. Теплообмен при течении в каналах. Теплообмен при фазовых превращениях. Теплоносители в термоядерных реакторах и установках. Кипение в потоке сильно недогретой до температуры насыщения жидкости. Кризис теплообмена при кипении. Методики расчета теплообмена и критических тепловых нагрузок. Методы интенсификация теплообмена и увеличения критических тепловых потоков (КТП), предлагаемые для ИТЭР. Расчет гидравлического сопротивления каналов с интенсификаторами. Закрутка потока как метод интенсификации теплообмена и увеличения КТП. Особенности течения и теплообмена в закрученном потоке. Результаты экспериментов по охлаждению прототипов тепловоспринимающих элементов ИТЭР. Методики расчета теплообмена и КТП в закрученных потоках. Численное моделирование течения и теплообмена в элементах конструкций термоядерных и ядерных реакторов и установок. Математическое описание процессов течения и теплообмена однофазной среды. Краткая характеристика численных методов решения. Проблемы численного моделирования турбулентности. Архитектура современных CFD кодов. Основы экспериментальных методов исследования теплообмена и гидродинамики. Эксперимент как метод исследования. Основные задачи экспериментального исследования теплообмена в термоядерной и ядерной энергетике. Построение лабораторных и натуральных стендов. Методы теории подобия при моделировании процессов. Схемы гидравлических контуров экспериментальных установок. Средства и методы измерений параметров течения и теплообмена. Автоматизация эксперимента. Обработка экспериментальных данных.

#### **Аннотация дисциплины**

#### ***Приборы и техника эксперимента – Б1.В.02***

**Цель дисциплины:** изучение основных методов диагностики высоко- и низкотемпературной плазмы, изучение методов измерения физических величин, приобретение практических навыков применения измерительных приборов и техники эксперимента, характерных для плазменных технологий.

**Место дисциплины в структуре ОПОП ВО:** Дисциплина относится к части формируемой участниками образовательных отношений блока 1 дисциплин по направлению подготовки магистров 14.04.01 Ядерная энергетика и теплофизика. Количество зачётных единиц - 5.

**Содержание разделов: 1 семестр.** Основные группы электрической измерительной аппаратуры. Роль электрической измерительной аппаратуры в измерении физических величин. Основные группы электрической измерительной аппаратуры. Первичные измерительные преобразователи. Методы измерения малых токов, напряжений и сопротивлений. Мостовые схемы измерений. Потенциометры. Нормальные элементы их назначение, принцип действия и основные характеристики. Вторичные электронные умножители. Фотоэлектронные умножители. Принцип их действия и области применения. Методы измерения больших токов. Методы термометрии. Термопары. Термометры сопротивления. Полупроводниковые датчики температуры и их область применения. Информационно-измерительная техника и технология на основе волоконно-оптических датчиков и систем. Методы и приборы для экспериментального исследования плотности потока излучения плазмы. Плазменные зонды. Фотодиоды. Неселективные приемники излучения. Плазменные зонды. Зонд Ленгмюра. Вольтамперная характеристика зонда Ленгмюра в плазме дугового разряда и ее применение для определения параметров плазмы. Методы и техника получения и измерения высокого напряжения. Принципиальная схема каскадного генератора высокого напряжения. Генератор импульсного напряжения Маркса. Генератор

Ван де Граафа Основные методы и приборы для измерения высокого напряжения. Техника получения пучков заряженных частиц. Электронная пушка и ее характеристики. Основные типы электронных пушек. Классификация источников ионов. Принципиальная схема дуоплазмотрона и область его применения. Ионные субмикронные зонды. Принципиальная схема зонда, чувствительность к концентрации примеси, проблемы с количественной интерпретацией данных ионного микроанализа поверхности. Вторичноионный масс-спектрометр, его принципиальная схема и область применения. Аппаратная функция спектрометра. Энергоанализаторы. Аппаратная функция, ее связь с разрешением спектрометра. Методы экспериментального определения аппаратной функции спектрометра (энергоанализатора). Принцип действия и область применения кремниевого поверхностно-барьерного детектора ядерных частиц. Атомные столкновения и спектрометрия обратного рассеяния Резерфорда. Энергоанализаторы. Принципы действия и область применения. Основные виды электронной спектроскопии. Спектроскопия характеристических (электронных) потерь энергии. Область применения. Оже-спектрометрия. Область применения. Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия. Источники рентгеновского излучения, применяемые в фотоэлектронной спектроскопии. Спектроскопия отраженных электронов. Область применения. Атомный силовой микроскоп. Атомный силовой микроскоп. Принцип действия и область применения. Сканирующий туннельный электронный микроскоп. Принцип действия и область применения. Лазерный оптический зонд (ЛИДАР). Зондирование атмосферы с помощью лазера. Лазерный оптический зонд (ЛИДАР). Основные виды рассеяния света в атмосфере. Спонтанное комбинационное рассеяние света и его применение для анализа состава атмосферы.

#### **Аннотация дисциплины**

#### ***Методы диагностики плазмы – Б1.В.03***

**Цель дисциплины:** получение базовой информации об основных методах диагностики высоко- и низкотемпературной плазмы и практических навыков их использования.

**Место дисциплины в структуре ОПОП ВО:** Дисциплина относится к части формируемой участниками образовательных отношений блока 1 дисциплин по направлению подготовки магистров 14.04.01 Ядерная энергетика и теплофизика. Количество зачётных единиц - 5.

**Содержание разделов: 1 семестр.** Спектроскопия плазмы. Спектральные приборы – монохроматоры, спектрографы, интерферометры, интерференционные светофильтры. Приборы высокой разрешающей силы. Оптические переходы в атомах и молекулах. Интенсивности спектральных линий. Ширина контуров спектральных линий. Механизмы уширения линий. Определение электронной температуры по интенсивности спектральных линий. Метод относительных интенсивностей. Определение концентрации по поглощению резонансного излучения. Техника регистрации излучения в ультрафиолетовом диапазоне. Лазерные методы измерения параметров плазмы. Основные характеристики лазеров. Взаимодействие лазерного излучения с плазмой. Оптическая интерферометрия с применением лазеров. Голография плазмы. Диагностика плазмы с применением эффектов рассеяния излучения. Оптические схемы лазерных установок. Измерение параметров плазмы, находящейся в магнитном поле, Фарадеевское вращение плоскости поляризации излучения. Макроскопические измерения в плазме. Измерение токов в плазме. Пояс Роговского. Ленточные и коаксиальные шунты. Измерение напряжений. Измерение электропроводности плазмы. Измерение давления и импульса плазмы. Зондовые измерения. Магнитные и электрические зонды. Элементы зондовых систем и их параметры. Методы получения энергетического распределения электронов из зондовых измерений. Факторы, вносящие искажение в вольт-амперную характеристику зонда. Чувствительность и частотная характеристика зондов. Плавающие зонды. Микроволновая диагностика плазмы. Методы микроволновой пассивной и

активной диагностики плазмы. Распространение волн в плазме. Измерение концентрации электронов методом отсечки. Зондирование плазмы несколькими частотами. Микроволновые интерферометры. Микроволновое излучение плазмы. Приемники микроволнового излучения

#### **Аннотация дисциплины**

##### ***Взаимодействие частиц и излучений с конструкционными материалами – Б1.В.04***

**Цель дисциплины:** изучение процессов, происходящих в конструкционных материалах подверженных воздействию частиц и излучений термоядерного происхождения.

**Место дисциплины в структуре ОПОП ВО:** Дисциплина относится к части формируемой участниками образовательных отношений блока 1 дисциплин по направлению подготовки магистров 14.04.01 Ядерная энергетика и теплофизика. Количество зачётных единиц - 4.

**Содержание разделов: 2 семестр.** Расчет процесса изотропизации потока атомных частиц в малоугловом приближении. Введение. Общность и различия в описании процессов переноса частиц и излучений в твердых телах. Проблема эрозии конструкционных материалов в условиях высоких потоков энергии и частиц – центральная проблема в развитии перспективных энергетических установок. Сечения процессов рассеяния. Уравнения переноса атомных частиц в твердых телах. Диффузионное и малоугловое приближения в теории упругого переноса атомных частиц. Изотропизация потоков атомных частиц в твердых телах, Решение Гаудсмита и Саундерсена. Функция распределения атомных частиц по длинам пробега, P1 аппроксимация. Расчет процесса деградации энергии потока атомных частиц на основе теории Ландау. Теория Ландау многократных неупругих потерь энергии. Уравнение Фоккера-Планка, приближение непрерывного замедления. Обобщение теории Ландау с учетом современных знаний о неупругих сечениях. Каскадная теория распыления, расчет коэффициентов распыления по формуле П. Зигмунда. Отражение атомных частиц от твердых тел. Решение граничных задач об отражении атомных частиц от твердых тел методом инвариантного погружения. Решение граничных задач об отражении атомных частиц от многослойных поверхностей твердых тел. Отражение быстрых ионов, метод обратного резерфордского рассеяния. Отражение ионов средних энергий. Спектроскопия отражения медленных ионов. Распыление твердых тел ионами. Физическое распыление. Каскадная теория распыления. Порог распыления. Энергетические зависимости коэффициентов распыления. Прямое выбивание и «тепловые пики». Облучение конструкционных материалов высокими дозами ионов инертных газов, явление блистеринга. Измерение энергетических спектров отраженных электронов. Схемы постановки эксперимента по измерению энергетических спектров отраженных электронов. Основы метода восстановления послыйного компонентного состава образца по энергетическим спектрам отраженных электронов. Определение процентного содержания изотопов водорода в приповерхностных слоях конструкционных материалов термоядерных установок на основе Спектроскопии Пиков Упруго-Отраженных Электронов. Измерение профиля суммарного по изотопному составу водорода методами Спектроскопии Отраженных Электронов. Изучение вторично-ионного масс-спектрометра, исследование массового спектра стали. Особенности распыления твердых тел легкими ионами, распыление многокомпонентных тел, распыление стратифицированных мишеней. Устройство вторично-ионного масс-спектрометра.

#### **Аннотация дисциплины**

##### ***Термоядерные экспериментальные реакторы – Б1.В.05***

**Цель дисциплины:** изучение конструкции, методов удержания и нагрева высокотемпературной плазмы, способов решения физико-технических и инженерных проблем современных

термоядерных установок с магнитным удержанием плазмы типа токамак как прототипов энергетического термоядерного экспериментального реактора.

**Место дисциплины в структуре ОПОП ВО:** Дисциплина относится к части формируемой участниками образовательных отношений блока 1 дисциплин по направлению подготовки магистров 14.04.01 Ядерная энергетика и теплофизика. Количество зачётных единиц - 5.

**Содержание разделов: 1 семестр.** Токамаки как практические устройства управляемого термоядерного синтеза. Термины и определения. Токамаки как практические устройства управляемого ядерного синтеза. Термины и определения. Тороидальный дрейф, вращательное преобразование, запас устойчивости, магнитные и дрейфовые поверхности. Создание магнитной конфигурации токамака. Создание магнитной конфигурации токамака. Равновесие по  $Z$  и  $R$ . Удлинение. Диверторные конфигурации. Предел по бета токовому. Запертые и пролетные частицы. Неоклассические потери. Области устойчивости по параметру столкновительности. Неоклассическая электропроводность. Бутстрэп-ток. Неоклассическое пинчевание. Неустойчивости плазмы в токамаке. МГД-неустойчивости токамака. Винтовые неустойчивости: идеальная, диссипативная (тиринг), баллонная. Магнитные острова. Пределы по  $q$ . Неустойчивости срыва: внутренний, предсрыв, срыв. Неоклассические острова. “Мягкий” предел по бета. Диаграмма Хьюгела. Неустойчивости типа ЭЛМ. Термоизоляция плазмы в экспериментальных токамаках-реакторах. Скейлинги ИТЭР. Способы нагрева плазмы в токамаке. Термоизоляция, электронный и ионный перенос.  $L$  и  $H$  -режимы. Скейлинг ИТЭРа. Проблемы взаимодействия плазмы со стенкой в термоядерном реакторе-токамаке. Удаление примесей. Понятие о методах подготовки стенок плазменных установок: очистка, боронизация, бериллизация. Инженерные проблемы стационарного токамака-реактора. Токамак-реактор как термоядерный источник нейтронов. Материалы первой стенки токамака реактора ИТЭР: вольфрам, бериллий, углеродные композиты. Проблемы диверторных пластин и первой стенки токамака-реактора. Радиационный бланкет. Проблемы стационарного токамака: способы поддержания тока, ввод топлива и удаление гелия и примесей. Термоядерный реактор-токамак как источник нейтронов. Примеси в плазме установок управляемого термоядерного синтеза: источники и основные последствия. Источники примесей в плазменных установках. Основные последствия присутствия примесей в плазме. Поведение примесей в замкнутых системах. Собираение примесей к центру. Экранирование в области разрушенных магнитных поверхностей – легкие и тяжелые примеси, пределы по  $n_e$ .

#### **Аннотация дисциплины**

#### ***Ядерная безопасность – Б1.В.06***

**Цель дисциплины:** изучение основ дозиметрии, действия излучений на живые организмы, физики защиты от излучений.

**Место дисциплины в структуре ОПОП ВО:** Дисциплина относится к части формируемой участниками образовательных отношений блока 1 дисциплин по направлению подготовки магистров 14.04.01 Ядерная энергетика и теплофизика. Количество зачётных единиц - 3.

**Содержание разделов: 3 семестр.** Природа ионизирующих излучений. Их взаимодействие с веществом. Единицы активности и доз. История открытия радиоактивности. Природа ионизирующих излучений, их основные источники и проникающая способность. Единицы измерения активности. Закон радиоактивного распада. Природные радиоактивные ряды. Спонтанное деление. Взаимодействие излучения с веществом. Сечение взаимодействия. Взаимодействие гамма-излучения. Фотоэффект, эффект Комптона, образование электрон-позитронных пар. Взаимодействие нейтронов с веществом. Сечения взаимодействия в тепловой и быстрой области энергий. Взаимодействие заряженных частиц с веществом. Ионизационные и радиационные потери энергии. Эффект Вавилова-Черенкова. Дозы ионизирующих излучений. Экспозиционная,

поглощенная и эквивалентная дозы. Единицы измерения. Локальное и общее облучение. Эффективная эквивалентная доза. Биологическое действие ионизирующих излучений Дозовые и производные пределы. Природный и техногенный фон. Механизмы действия излучения на живые организмы. Биологическое действие внешнего и внутреннего облучения. Соматические и генетические последствия облучения. Клинические последствия острого облучения Лучевая терапия. Период полувыведения. Пределы годового поступления радионуклидов в организм. Предельно допустимые концентрации радионуклидов в воде и воздухе. Предельно допустимые содержания радионуклидов в теле человека. Природный радиационный фон и его составляющие. Роль радона. Техногенные добавки к фону. Порог действия радиации. Беспороговая гипотеза. Риск. Принцип оптимизации. Защита от излучений. Методы расчета. Радионуклиды как гамма-источники. Керма и гамма-постоянные. Коэффициент передачи энергии и ослабления для узкого пучка. Поле излучения источников различной геометрической формы. Закон ослабления фотонного излучения в геометрии широкого пучка. Факторы накопления. Методы расчета защиты от фотонного излучения. Метод расчета по слоям половинного ослабления. Универсальные таблицы для расчета защит. Альбеда фотонного излучения. Уравнение переноса. Методы решения. Характеристики источников нейтронов. Закономерности формирования пространственно-энергетического распределения нейтронов в основных материалах. Альбеда нейтронов. Метод длин релаксации для расчетов защиты от нейтронов. Концепция сечения выведения. Дозовый состав нейтронного излучения в различных средах. Коэффициенты накопления подпороговых нейтронов. Защита от альфа и бета излучений. Защита от тормозного излучения. Аварии на объектах атомного комплекса. Радиационные последствия испытаний ядерного оружия. Кыштымская авария в 1957г. Авария на английском реакторе в Виндскайл. Авария на АЭС Three mile Island. Авария на Чернобыльской АЭС. Причины. Радиационные последствия. Авария на АЭС ФУКУСИМА-1. Международная шкала INES. Радиационные последствия испытаний ядерного оружия. Методы измерений доз ионизирующих излучений. Приборы радиационного контроля. Ионизационная камера. Фотографический и химический методы. Сцинтилляционный метод. Полупроводниковые детекторы. Трековые детекторы. Активационный метод. Спектрометрия фотонного и нейтронного излучений. Спектрометр излучений человека. Прогнозирование радиационных последствий аварий. Нормы радиационной безопасности. Радиофобия и реальность. НРБ-99/2009. Пределы доз. Планируемое повышенное облучение персонала при ликвидации аварий. Радиофобия и реальность.

#### **Аннотация дисциплины**

#### ***Плазменная техника и технологии – Б1.В.07***

**Цель дисциплины:** изучение технических особенностей современных плазменных установок и реализуемых на их основе технологий для энергетического, экологического и специального применения процессов с использованием потоков плазмы.

**Место дисциплины в структуре ОПОП ВО:** Дисциплина относится к части формируемой участниками образовательных отношений блока 1 дисциплин по направлению подготовки магистров 14.04.01 Ядерная энергетика и теплофизика. Количество зачетных единиц - 3.

**Содержание разделов: 3 семестр.** Основы физики и техники плазменных технологий. Место плазменной техники и технологий в стратегия развития промышленности. Связь электротехнологий с развитием космической, ядерной и военной техники в 60-80 годах прошлого века. Электропитание дуговых плазмотронов на постоянном токе. Электродуговые плазмотроны на постоянном токе (плазмотроны с самоустанавливающейся длиной дуги, плазмотроны с фиксированной длиной дуги). Обобщенные уравнения для расчета параметров электродуговых плазмотронов (ВАХ электрической дуги, тепловой КПД плазмотрона). Примеры. Принципиальные

схемы электродуговых плазмотронов постоянного тока. Электропитание дуговых плазмотронов на переменном токе. Трёхфазные электродуговые плазмотроны. Плазменно-дуговая сварка, резка, наплавка, закалка. Физические основы процесса плазменно-дуговой сварки. Типы и конструктивные особенности установок плазменно-дуговой сварки. Основные электрические и технологические параметры плазменно-дуговой сварки. Плазменная резка. Плазменная наплавка, закалка. Плазменная обработка поверхностей металлов, сплавов и диэлектриков. Технологии обработки поверхностей металлов, сплавов и диэлектриков. Особенности плазменной обработки поверхностей металлов, сплавов и диэлектриков. Плазменные струи термической и неравновесной плазмы для обработки поверхностей металлов, сплавов и диэлектриков. Технические устройства для плазменной обработки поверхностей металлов, сплавов и диэлектриков. Плазменное напыление. Физические основы процесса термического плазменного напыления. Конструктивные особенности и технические характеристики устройств термического плазменного напыления. Технологические задачи и работы устройств термического плазменного напыления в реальных условиях. Плазменная обработка термостойких материалов и наночастиц. Особенности процесса плазменной обработки термостойких материалов и наночастиц. Нагревание и движение сыпучих материалов в струе термической плазмы. Конструктивные особенности ВЧИ-установки и системы для обработки термостойких материалов и наночастиц. Плазменная металлургия. Технологические задачи и особенности процесса плазменно-дуговой плавки металлов. Тепловые потоки и их баланс в плазменно-дуговых печах плавки металлов. Конструктивные особенности и работы плазменно-дуговых установок и систем для плавки металлов. Плазмохимическая переработка сырья. Плазменные процессы вскрытия рудного сырья с получением металлов и их оксидов. Плазменная технология получения дисперсных оксидных материалов из растворов и расплавов. Плазменная технология получения дисперсных оксидных материалов из фторидного сырья. Принципы работы водопарового плазмотрона. Плазменная переработка отходов производства и потребления. Технологические задачи и особенности плазменной утилизации жидких и твердых отходов. Химическое разложение веществ в жидких и твердых фазах при высоких температурах плазменной струи. Конструктивные особенности и работы плазменных установок и систем при утилизации жидких и твердых отходов. Формирующиеся области применения плазменной техники и технологий. Комбинированные электротермические технологии извлечения ценных компонентов из природных и синтетических минералов.

#### **Аннотация дисциплины**

#### ***Излучательные свойства и спектроскопия низко- и высокотемпературной плазмы – Б1.В.08***

**Цель дисциплины:** получение представлений о природе излучения низкотемпературной и высокотемпературной плазмы, освоение теоретических основ спектроскопии плазмы и практических навыков спектрального определения ее параметров с помощью систем сбора данных и их программной обработки.

**Место дисциплины в структуре ОПОП ВО:** Дисциплина относится к части формируемой участниками образовательных отношений блока 1 дисциплин по направлению подготовки магистров 14.04.01 Ядерная энергетика и теплофизика. Количество зачётных единиц - 5.

**Содержание разделов: 2 семестр.** Энергетические спектры атомов. Энергетические спектры атомов. Состояния и квантовые числа связанных электронов в атоме. Электронные конфигурации и термы основных состояний атомов. Уровни энергии и спектры атомных частиц. Спектры простых и сложных атомов. Правила отбора для изменения состояний излучающего атома. Энергетические спектры молекул. Энергетические спектры молекул. Потенциалы взаимодействия атомных частиц. Квантовые числа двухатомной молекулы. Электронные конфигу-



рации двухатомных молекул. Потенциальные кривые двухатомных молекул и ионов. Электронно-колебательно-вращательные спектры молекул и молекулярных ионов. Излучательные свойства низкотемпературной плазмы. Типы радиационных переходов. Непрерывное излучение плазмы. Излучение спектральных линий: интенсивности, контур и ширина. Характерные спектры излучения атомарной и молекулярной плазмы. Перенос излучения в плазме. Оптическая толщина. Реабсорбция излучения. Уравнение переноса излучения Бибермана-Холстейна и его решения. Основы количественной спектроскопии плазмы. Основы фотометрии и измерение спектральных интенсивностей. Спектральная аппаратура и приемники излучения. Эталоны длин волн и спектральной плотности излучения. Современный спектроскопический эксперимент. Методы спектральной диагностики равновесной и неравновесной низкотемпературной плазмы. Абсолютные интенсивности спектральных линий, континуума, молекулярных полос. Контурные спектральных линий (СЛ). Самообращение контуров СЛ. Методы спектрального определения параметров атомарной и молекулярной плазмы. Особенности спектральной диагностики неравновесной и нестационарной плазмы. Нелинейные оптические эффекты. Диэлектрическая проницаемость и критическая плотность плазмы. Краткие основы физики лазеров. Оптические резонаторы и его моды. Спонтанное и вынужденное излучение. Инверсия населенности. Принцип работы лазера. Механизмы и способы создания активной среды лазеров. Свойства лазерного излучения. Основные типы лазеров. Взаимодействие лазерного излучения с веществом. Диагностика высокотемпературной плазмы. Корпускулярная диагностика. Микроволновая интерферометрия и рефлектометрия: определение концентрации электронов и положения плазменного шнура. Рентгеновская спектроскопия. Лазерные методы диагностики: определение параметров плазмы по отражению, преломлению, поглощению и рассеянию лазерного излучения.

#### **Аннотация дисциплины**

#### ***Диагностика импульсной плазмы – Б1.В.09***

**Цель дисциплины:** является в изучении основных методик диагностики импульсной плазмы, в том числе плазменных образований с протекающими токами мегаамперного диапазона.

**Место дисциплины в структуре ОПОП ВО:** Дисциплина относится к части формируемой участниками образовательных отношений блока 1 дисциплин по направлению подготовки магистров 14.04.01 Ядерная энергетика и теплофизика. Количество зачётных единиц - 4.

**Содержание разделов: 3 семестр.** Плазменные импульсные системы и особенности их диагностики. Импульсная плазма в природе и лаборатории. Инерциальный термоядерный синтез, критерий Лоусона для ИТС. Сильноточные плазменные системы, микросекундные и наносекундные пинчи. Сильноточные генераторы. Особенности обработки экспериментальных данных в импульсных плазменных исследованиях. Применение современных математических пакетов для обработки экспериментальных данных в импульсных плазменных экспериментах: особенности синхронизации, электромагнитные наводки и шумы, косвенные измерения физических величин по средствам математической обработки сигналов. Измерения электрических параметров импульсной токнесущей плазмы. Измерения электрических параметров. Магнитные зонды, пояса Роговского, низкоиндуктивные шунты, согласованные делители. Измерение тока по фарадеевскому вращению плоскости поляризации в световодах. Длинные линии, волновое сопротивление. Требования к регистраторам. Регистрация оптического излучения из плазмы. Приемники оптического излучения. Фотопленка, фотокатоды, энергетическая и спектральная чувствительность, шумы (собственные и дробовые); ПЗС-матрицы. Пространственное и временное разрешение, информационные возможности. Методы высокоскоростной фотографии. Механические системы, электронно-оптические методы, Различные типы электронно-оптических преоб-

разователей и камер. Примеры применения. Диагностика импульсной плазмы методами лазерного зондирования. Поглощение, рефракция и фазовый сдвиг электромагнитных волн. Интерферометрические методы: исследования плазмы: а) с визуализацией поля зрения и б) с фотоэлектрической регистрацией фазового сдвига. Основные типы интерферометров для диагностики импульсной плазмы. Источники подсветки. Когерентность. Шлирен-методы. Фарадеевское вращение плоскости поляризации. Рентгеновские методы диагностики. Рентгеновское излучение; методы получения, свойства, области применения. Рентгеновское фотографирование с временным разрешением; импульсная радиография. Излучение из плазмы. Элементарные процессы в плазме; модели равновесия. Линейчатое, рекомбинационное и тормозное излучение. Оптически плотная среда, “черное” излучение. Рентгеновские методы исследования плазмы: диагностика плазмы по спектральным линиям многозарядных ионов. Измерение электронной температуры по тормозному континууму. Метод фильтров. Рентгеновская спектроскопия. Уширение спектральных линий. Основные механизмы уширения спектральных линий: эффекты Доплера, Штарка и Зеемана. Измерение температуры ионов и нейтралов по доплеровскому уширению их спектральных линий. Определение параметров плазмы по штарковскому уширению спектральных линий водорода. Регистрация неравновесных электрических полей по штарковским контурам. Диагностика плазмы по рассеянию электромагнитных волн. Рассеяние электромагнитных волн разной природы – рэлеевское, молекулярное. Лазерная флуоресценция. Определение параметров сред с помощью лазерного рассеяния. Томсоновское и коллективное рассеяние. Рассеяние излучения на неравновесных шумах.

#### **Аннотация дисциплины**

##### ***Физическая кинетика разреженных систем – Б1.В.10***

**Цель дисциплины:** освоение современных принципов и подходов физической кинетики разреженных систем, позволяющих разобраться в физических основах процессов, протекающих в разреженных системах.

**Место дисциплины в структуре ОПОП ВО:** Дисциплина относится к части формируемой участниками образовательных отношений блока 1 дисциплин по направлению подготовки магистров 14.04.01 Ядерная энергетика и теплофизика. Количество зачётных единиц - 3.

**Содержание разделов: 2 семестр.** Основы физической кинетики разреженных систем. Функция распределения частиц в физике. Одночастичная функция распределения. Приближение идеального газа. Принцип детального равновесия. Симметрия кинетических коэффициентов. Уравнение Смолуховского. Кинетическое уравнение Больцмана. H-теорема Больцмана. Уравнение Фоккера-Планка. Явления переноса в равновесном газе. Диффузия частиц в газе. Теплопроводность газа. Вязкость газа. Термодиффузия. Решения уравнения Больцмана в  $\tau$ -приближении. Коэффициенты переноса в приближении твердых сфер. Приближение Чепмена-Энскога. Теплопроводность с учетом внутренних степеней свободы. Теплопроводность молекулярных газов с учетом химических превращений. Неравновесная слабоионизованная плазма. Кинетическое уравнение для электронов в электрическом поле. Функция распределения электронов по энергиям в электрическом поле с учетом упругих соударений электронов с атомами. Соотношение Эйнштейна. Средняя энергия, дрейфовая скорость, коэффициенты диффузии и термодиффузии электронов в газе. Диффузия и дрейф ионов в собственном и чужом газе под действием электрического поля. Амбиполярная диффузия. Баланс энергии электронов в молекулярных газах и газовых смесях. Ионизационная и рекомбинационная неравновесность слабоионизованной плазмы. Ионизационно-перегревная неустойчивость. Неравновесные молекулярные газы. Теория теплового взрыва. Тепловое распространение пламени. Диффузионное распространение пламени. Обмен энергией между колебательной, поступательной и вращатель-

ными степенями свободы молекулярного газа. Формула Ландау-Теллера и ее уточнения. Неравновесный молекулярный газ с большим отрывом колебательной температуры от поступательной. Неустойчивость неравновесного состояния молекулярного газа. Распределение Тринора. Частичная инверсия. Методы получения неравновесных молекулярных газов. Газовый разряд. Газодинамическое сопло. Ударная волна. Тепловой взрыв в неравновесном молекулярном газе. Прилипательно-колебательная неустойчивость. Механизмы контракции газового разряда. Распределение заряженных частиц по сечению газоразрядной камеры. Условие контракции газового разряда. Контракция разряда в результате ионизационно-перегревной неустойчивости. Контракция разряда в молекулярных газах. Нетепловая контракция разряда. Перенос резонансного излучения в газах. Связь между механизмом пленения резонансного излучения и характером уширения спектральной линии. Эффективное время выхода резонансного фотона из среды в случае лоренцовского и доплеровского уширения. Профиль Фойхта. Фоторезонансная плазма. Кинетика образования зародышей и роста кластеров в неравновесных газах и парах. Уравнение Фоккера-Планка для роста кластеров. Критический размер зародыша. Рост водяных капель в атмосфере. Роль заряда в процессе роста капель.

#### **Аннотация дисциплины**

##### ***Современные объекты атомной физики – Б1.В.ДВ.01.01***

**Цель дисциплины:** изучение физических свойств основных современных объектов атомной физики, методов их получения и исследования и их роли в природных и технологических системах.

**Место дисциплины в структуре ОПОП ВО:** Дисциплина относится к части формируемой участниками образовательных отношений блока 1 дисциплин по направлению подготовки магистров 14.04.01 Ядерная энергетика и теплофизика. Количество зачётных единиц - 4.

**Содержание разделов: 3 семестр.** Атомная система единиц. Основные соотношения атомной физики в атомной системе единиц. Связь между безразмерными переменными (длина, скорость, частота, энергия и время) и реальными значениями этих параметров. Комплексный ион. Потенциал взаимодействия атома и иона. Энергия связи простых молекулярных ионов. Гидратированные комплексные ионы. Роль комплексных ионов в атмосферных процессах. Отрицательный ион. Энергия сродства электрона к атому. Процессы образования и разрушения отрицательных ионов. Процесс фотоприлипания в фотосфере Солнца. Электрическая прочность атмосферного воздуха. Многозарядный ион. Зависимость спектра многозарядного иона от его заряда. Способы образования многозарядных ионов. Проблема создания рентгеновского лазера. Ридберговский атом. Зависимость энергии электрона в ридберговском атоме от главного квантового числа. Получение и идентификация ридберговских атомов. Точные измерения с помощью ридберговских атомов. Проблема реликтового излучения. Эксимерная молекула. Структура эксимерной молекулы. Механизмы образования эксимерных молекул. Эксимерные лазеры. Кластеры и кластерные ионы. Структура кластеров. Магические числа. Способы получения кластеров и кластерных пучков. Образование кластеров газодинамическом сопле. Углеродные наноструктуры. Фуллерены. История открытия фуллеренов. Структура фуллеренов. Получение фуллеренов в плазме дугового разряда с графитовыми электродами. Экстракция фуллеренов методом SOXLET. Разделение фуллеренов методом жидкостной хроматографии. Углеродные нанотрубки (УНТ). Структура УНТ. Однослойные и многослойные УНТ. Хиральность. Эмиссионные свойства УНТ. Сорбционные свойства УНТ. Полимерные нанокомпозиты с присадкой УНТ. Перколяционная проводимость. Усиление сигнала комбинационного рассеяния в присутствии УНТ. Графен. История открытия графена. Структура графена. Структурные дефекты гра-

фена. Методы получения графена. Термическое восстановление оксида графена. Перколяционная проводимость и нелинейные электрические характеристики частично восстановленного оксида графена.

#### **Аннотация дисциплины**

##### ***Магнитоплазменная аэродинамика – Б1.В.ДВ.01.02***

**Цель дисциплины:** изучение физико-технических основ магнитоплазменной аэродинамики (МПА) и использования плазменных технологий в авиации.

**Место дисциплины в структуре ОПОП ВО:** Дисциплина относится к части формируемой участниками образовательных отношений блока 1 дисциплин по направлению подготовки магистров 14.04.01 Ядерная энергетика и теплофизика. Количество зачётных единиц - 4.

**Содержание разделов: 3 семестр.** Основные положения магнитоплазменной аэродинамики. Общая характеристика предмета. Основные проблемы и подходы к их решению. Фундаментальные и прикладные аспекты. Элементы физической газодинамики. Уравнения сохранения. Термодинамика реальных газоплазменных потоков. Критерии подобия. Взаимодействие с поверхностью твердых тел. Вязкость и теплопроводность. Ударные волны. Объёмные силы и подвод энергии. Генерация вихревых потоков и их эволюция. Течения в каналах. Газоразрядные процессы в газоздушных потоках. Электрический разряд в высокоскоростном газовом потоке. Характеристики и параметры разряда постоянного тока в газовом потоке. Газоразрядные процессы как источник объёмных воздействий. Эффекты внешнего магнитного поля. МГД силы и МГД преобразование энергии импульса. Управление характеристиками обтекания. Управление обтеканием тел с помощью внешних электрических, магнитных и электромагнитных полей. Плазменные и магнитогидродинамические актуаторы. Управление процессами в газотопливных потоках. Интенсификация смешения, контроль воспламенения и стабилизация горения в быстро проточных камерах сгорания. Запыленные газоплазменные потоки во внешних электрических и магнитных полях. Экспериментальные и численные методы исследования магнитоплазменной аэродинамики. Основные экспериментальные методы МПА. Определение колебательной и поступательной температур в плазме импульсного разряда в высокоскоростном потоке из анализа относительного распределения возбужденных молекул азота. Измерение распределения плотности газового потока методом скоростной оптической интерферометрии. Измерение распределения скорости потока вблизи обтекаемого тела методом PIV. Численное моделирование обтекания тел с локальными зонами энергоподвода. Физические принципы МГД и ЭГД преобразования энергии потока. МГД методы управления обтеканием тел. Основные теоретические модели и подходы, используемые в численном моделировании МПА экспериментов. Концепция комплексного расчетно-теоретического и экспериментального исследования многофакторных и многомасштабных явлений и процессов.

#### **Аннотация дисциплины**

##### ***Водородная энергетика и аккумулирование энергии – Б1.В.ДВ.02.01***

**Цель дисциплины:** изучение физических основ методов аккумулирования энергии, применяемых в современной и перспективной энергетике, включая водородную энергетiku, приобретение практических навыков по расчету и применению энергоустановок, использующих электрохимическое и водородное аккумулирование энергии.

**Место дисциплины в структуре ОПОП ВО:** Дисциплина относится к части формируемой участниками образовательных отношений блока 1 дисциплин по направлению подготовки магистров 14.04.01 Ядерная энергетика и теплофизика. Количество зачётных единиц - 3.

**Содержание разделов: 3 семестр.** Основные тенденции развития мировой и российской энергетики. Основные определения. Основные тенденции развития мировой и российской энергетики. Роль ТЭК в жизни России. Потенциал повышения энергоэффективности энергетики России. Прогноз развития энергетики России. Энергетическая стратегия России. О необходимости развития возобновляемой и распределенной энергетики. Методы хранения энергии в современной энергетике. Методы хранения энергии в современной энергетике, химические источники тока. Основные понятия, терминология. Краткий обзор основных методов аккумулирования энергии (гидроаккумулирование, пневмоаккумулирование, механические системы, электрические системы, электрохимические системы). Гидроаккумулирующие электростанции как основная технология аккумулирования в энергетике. Основные понятия, терминология. Основные различия между гальваническими элементами, аккумуляторами и топливными элементами. Аккумуляторные батареи. Физико-химические основы работы аккумуляторных батарей. Краткий обзор основных типов аккумуляторных батарей. Литий-ионные аккумуляторы: принцип действия, характеристики. Понятие водородной энергетики. Производство водорода. Водород – вторичный энергоноситель. Концепция и история водородной энергетики. Применение водорода в промышленности и перспективы применения водорода в энергетике (технологии Power-to-Gas, Power-to-X). Обзор методов получения водорода: паровая конверсия метана, реакции неполного окисления, термолиз. Конверсия метана, как самый распространенный способ получения водорода. Электролиз воды и топливные элементы. Электрохимические устройства. Электролиз воды. Основные понятия, терминология. Термодинамика реакции разложения воды. Основные типы электролизеров воды, устройство электролизера. Топливные элементы, принцип действия, термодинамика. Типы топливных элементов, устройство топливных элементов. КПД электролиза воды и топливных элементов. Перспективы развития технологии электролиза воды и топливных элементов. Транспортировка и хранение водорода Обеспечение безопасности при работе с водородом. Основные понятия, терминология. Хранение водорода: сжатый газ. Хранение водорода: криогенное хранение. Хранение водорода в химически связанном состоянии. Применение металлгидридных систем для длительного хранения водорода без потерь, очистка водорода с помощью гидридов металлов, металлгидридные компрессоры водорода, металлгидридные тепловые насосы. Свойства водорода и их связь с обеспечением безопасности при работе с водородом. Мероприятия по предотвращению аварий при работе с водородом. Водородные сенсоры, основные типы, физические принципы работы. Применение водорода для аккумулирования энергии. Малая энергетика, системы на основе топливных элементов. Крупномасштабное хранение энергии - технологии Power-to-Gas, Power-to-X). Водородные автомобили. Применение аккумуляторных батарей и перспективные системы. Преимущества и ограничения различных способов хранения энергии. Электрические автомобили. Перспективы развития рынка лития в ближайшей перспективе. О необходимости разработки новых методов аккумулирования энергии для энергетики. Перспективы развития систем аккумулирования энергии и водородной энергетики. Краткий обзор курса. Экологические аспекты перспективной энергетики и систем аккумулирования энергии. Как повлияют новые системы аккумулирования водорода на развитие энергетики будущего?

#### **Аннотация дисциплины**

#### ***Современные методы расчета ядерных реакторов – Б1.В.ДВ.02.02***

**Цель дисциплины:** получение основных сведений о физических процессах, протекающих в современных ядерных реакторах, и их конструктивных особенностях, а также совершенствование навыков в проведении расчётов основных нейтронно-физических характеристик реактора.

**Место дисциплины в структуре ОПОП ВО:** Дисциплина относится к части формируемой участниками образовательных отношений блока 1 дисциплин по направлению подготовки магистров 14.04.01 Ядерная энергетика и теплофизика. Количество зачётных единиц -3.

**Содержание разделов: 3 семестр.** Обзор современных методов расчета ядерных реакторов. Метод Монте-Карло. Метод вероятности первых столкновений. Многогрупповое уравнение диффузии. Конечно-разностная система уравнений в диффузионном приближении. Метод дискретных ординат (Sn-метод). Компьютерное моделирование процессов в современных ядерных реакторах. Программа UNK. Моделирование переноса излучения по программе MCNP. Программа СТАРТ4. Методика расчета набора констант по программе UNK. Особенности программы UNK. Основные элементы оболочки программы UNK. Особенности расчета наборов констант по программе UNK. Методика расчета современного ядерного реактора по программе СТАРТ4. Особенности программы СТАРТ4. Основные элементы оболочки программы СТАРТ4. Возможности моделирования переноса излучения по программе СТАРТ4. Расчет не стационарных процессов по программе СТАРТ4. Постобработка результатов расчетов и компьютерного моделирования процессов в современных ядерных реакторах.