

АННОТАЦИИ ПРОГРАММ УЧЕБНЫХ ДИСЦИПЛИН

**Аннотация дисциплины**  
**Физика (общая) – Б1.О.12**

**Цель дисциплины:** обеспечение фундаментальной физической подготовки, позволяющей будущим специалистам ориентироваться в научно-технической информации, использовать физические принципы и законы, а также результаты физических открытий в области монтажа и эксплуатации энергетических машин, агрегатов, установок и систем их управления, в основу рабочих процессов которых положены различные формы преобразования энергии.

**Место дисциплины в структуре ОПОП ВО:** Дисциплина относится к обязательной части блока 1 дисциплин по направлению подготовки бакалавров 14.03.01 Ядерная энергетика и теплофизика. Количество зачётных единиц - 21.

**Содержание разделов: 2 семестр.** Механика. Физические основы механики. Кинематика поступательного и вращательного движения. Механическое движение как простейшая форма движения материи. Кинематика материальной точки. Закон движения, скорость, ускорение (нормальное, тангенциальное). Принцип относительности Галилея. Кинематика вращательного движения. Связь линейных и угловых кинематических величин. Динамика поступательного и вращательного движения. Инерциальные системы отсчета. Законы Ньютона. Виды взаимодействий. Характеристика основных сил в динамике. Центр масс, приведенная масса. Внешние и внутренние силы. Закон изменения импульса материальной точки и системы тел. Закон сохранения импульса, его связь с однородностью пространства. Энергия как универсальная мера различных видов движения и взаимодействий. Способы передачи энергии. Закон сохранения энергии. Механическая работа. Потенциальные и диссипативные силы. Потенциальная и кинетическая энергии. Теорема об изменении кинетической энергии. Механическая энергия. Закон сохранения механической энергии. Основное уравнение динамики вращательного движения. Момент силы. Момент импульса относительно точки и оси. Момент инерции абсолютно твердого тела. Закон сохранения момента импульса и его связь с изотропностью пространства. Теорема Штейнера. Кинетическая энергия вращающегося тела. Теорема Кенига. Механические колебания. Линейный гармонический осциллятор. Дифференциальные уравнения свободных, затухающих и вынужденных колебаний. Метод векторных диаграмм. Энергия колебаний. Характеристики затухающих колебаний. Резонанс при вынужденных колебаниях. Релятивистская механика. Постулаты Эйнштейна. Релятивистская кинематика. Собственное время. Преобразования Лоренца. Одновременность событий. Релятивистское сокращение длин и сложение скоростей. Предельность скорости света. Релятивистская динамика. Импульс и энергия в специальной теории относительности. Молекулярная физика и термодинамика. Основы молекулярной физики. Системы из многих частиц. Статистический и термодинамический методы исследования. Наиболее вероятное распределение частиц в пространстве. Принцип детального равновесия. Максвелловское распределение частиц по скоростям. Барометрическое распределение. Кинетическая энергия молекул. Температура. Распределение энергии по степеням свободы молекул. Идеальный газ. Внутренняя энергия идеального газа. Уравнение состояния идеального газа. Изопроцессы. Молекулярно-кинетическая теория теплоемкостей идеальных газов и ее ограниченность. Основы термодинамики. Внутренняя энергия, теплота, работа. Первое начало термодинамики. Применение первого начала термодинамики к изопроцессам идеального газа. Адиабатный процесс. Политропные процессы. Термодинамические циклы. Второе начало термодинамики. Тепловые машины и их КПД. Вечные двигатели первого и второго рода. Цикл Карно. Энтропия. Термодинамическая вероятность. Явления переноса. Длина свободного пробега молекул. Диффузия. Коэффициент диффузии. Закон Фика и уравнение диффузии. Время диффузии. Теплопроводность. Коэффициент теплопроводности. Закон Фурье. Внутреннее трение. Формула Пуазейля. Связь коэффициентов переноса. Реальные газы. Взаимодействие молекул.

Уравнение Ван-дер-Ваальса. Изотермы Эндрюса. Критическое состояние. Эффект Джоуля – Томсона. **3 семестр.** Электричество. Электростатика. Электрический заряд и его свойства. Электростатическое поле. Закон Кулона. Напряженность поля. Принцип суперпозиции. Поле диполя. Работа сил электрического поля. Потенциал. Силовые линии и эквипотенциальные поверхности. Теорема Гаусса для электростатического поля в вакууме. Свободные и связанные заряды. Диполь во внешнем электрическом поле. Теорема Гаусса для диэлектриков. Вектор электрического смещения (индукции). Электростатическое поле на границе диэлектриков. Проводники в электростатическом поле. Поле вблизи проводника. Электроемкость уединенного проводника. Электроемкость конденсатора (плоского и цилиндрического). Энергия электростатического поля. Энергия системы зарядов и конденсатора. Объемная плотность энергии электростатического поля. Теорема Гаусса в дифференциальной форме. Уравнение Пуассона. Постоянный электрический ток, условия его существования. Характеристики постоянного тока. Классическая теория электропроводности металлов и ее опытное обоснование. Закон Ома в дифференциальной форме. Обобщенный закон Ома. Разность потенциалов, ЭДС, напряжение. Магнетизм. Магнитное поле в вакууме. Магнитная индукция. Закон Био-Савара-Лапласа. Вихревой характер магнитного поля. Магнитная индукция прямолинейного проводника с током. Магнитное поле витка с током. Теорема о циркуляции индукции магнитного поля в вакууме. Закон Ампера. Определение единицы силы тока. Рамка с током в магнитном поле (магнитный момент). Движение заряженных частиц в электрических и магнитных полях. Сила Лоренца. Движение заряженных частиц в магнитном поле. Циклотронная частота. Масс-спектрографы. Электронно-лучевая трубка. Эффект Холла. Электромагнитная индукция. опыты Фарадея. Явление электромагнитной индукции. Магнитный поток. Закон Фарадея–Максвелла. Правило Ленца. Объяснение явления на основе электронных представлений и на основе закона сохранения энергии. Взаимная индукция. Самоиндукция, индуктивность. Токи при размыкании и замыкании электрической цепи. Работа по перемещению проводника и контура с током в магнитном поле. Энергия магнитного поля. Объемная плотность энергии магнитного поля. Магнитное поле в веществе. Гипотеза Ампера. Физическая природа микротоков. Типы магнетиков. Свойства диа- и парамагнетиков. Намагниченность. Магнитная восприимчивость. Закон полного тока для магнитного поля в веществе. Напряженность магнитного поля. Относительная магнитная проницаемость. Преломление линий магнитной индукции на границе раздела магнитных сред. Ферромагнетики. опыты Столетова по исследованию ферромагнетиков. Магнитный гистерезис. Точка Кюри. Электрические колебания и электромагнитные волны. Гармонические электромагнитные колебания и их характеристики. Электрический колебательный контур. Свободные, затухающие и вынужденные колебания. Превращение энергии в контуре. Характеристики затухающих и вынужденных колебаний. Явление резонанса. Закон электромагнитной индукции в дифференциальной форме. Ротор. Уравнение непрерывности (интегральная и дифференциальная форма). Ток смещения. Магнитное поле в конденсаторе. Уравнения Максвелла в дифференциальной и интегральной форме. Нестационарные волновые уравнения в вакууме. Получение уравнения электромагнитной волны из системы уравнений Максвелла. Бегущие электромагнитные волны в вакууме, их характеристики. Плоская электромагнитная волна. Поперечность электромагнитной волны. Энергия электромагнитных волн. Вектор Пойнтинга. Интенсивность излучения. Излучение диполя. **4 семестр.** Оптика. Интерференция и дифракция света. Интерференция когерентных источников. Когерентность и монохроматичность световых волн. Время и длина когерентности. Оптическая разность хода. Расчет интерференционной картины от двух источников. Типы интерференционных картин. Расчет интерференционной картины в тонких пленках. Пленки равной толщины и равного наклона. Интерферометры. Дифракция света на щели и решетке. Принцип Гюйгенса – Френеля. Метод зон Френеля. Прямолинейное распространение света. Ди-

фракция Френеля на круглом отверстии и диске. Дифракция Фраунгофера на одной щели и дифракционной решетке. Разрешающая способность оптических приборов. Формула Вульфа – Брэггов. Исследование структуры кристаллов. Понятие оптически однородной среды. Дисперсия света. Нормальная и аномальная дисперсия света. Фазовая и групповая скорости. Электронная теория дисперсии. Поляризация света. Естественный и поляризованный свет. Поляризация света при отражении. Закон Брюстера и его физический смысл. Двойное лучепреломление. Одноосные кристаллы. Поляроиды и поляризационные призмы. Закон Малю. Элементы квантовой оптики. Тепловое излучение и его характеристики. Спектры теплового излучения. Законы Кирхгофа, Вина и Стефана–Больцмана. Квантовая гипотеза и формула Планка. Оптическая пирометрия. Внешний фотоэлектрический эффект. Уравнение Эйнштейна для внешнего фотоэффекта. Энергия, импульс, масса фотона. Эффект Комптона и его теория. Давление света. опыты Лебедева. Квантовое и волновое объяснение давления света. Единство корпускулярных и волновых свойств электромагнитного излучения. Элементы квантовой механики и атомной физики. Строение атома водорода по теории Бора. Постулаты Бора. Основы квантовой механики. Двойственная корпускулярно-волновая природа материи. Гипотеза де Бройля. Волновая функция. Соотношение неопределенностей Гейзенберга. Стационарное и нестационарное уравнение Шредингера. Частица в одномерной прямоугольной яме бесконечной глубины. Принцип соответствия Бора. Прямоугольный потенциальный барьер. Туннельный эффект и надбарьерное отражение. Гармонический осциллятор. Энергетический спектр атома водорода. Квантовые числа. Спин электрона. опыты Штерна и Герлаха. Принцип Паули. Спонтанное и вынужденное излучение. Лазер. Элементы атомной и ядерной физики. Атомное ядро, его состав и характеристики. Изотопы. Взаимодействие нуклонов. Понятие о ядерных силах. Несостоятельность протонно-электронной теории ядра. Протонно-нейтронная модель ядра. Энергия связи ядра. Дефект массы. Естественная радиоактивность. Физические основы ядерной и термоядерной энергетики. Элементарные частицы. Ускорители, методы получения и регистрации элементарных частиц.

#### **Аннотация дисциплины** **Электродинамика – Б1.В.07**

**Цель дисциплины:** изучение методов описания электромагнитных полей и их взаимодействия с заряженными частицами.

**Место дисциплины в структуре ОПОП ВО:** Дисциплина относится к части формируемой участниками образовательных отношений блока 1 дисциплин по направлению подготовки бакалавров 14.03.01 Ядерная энергетика и теплофизика. Количество зачётных единиц - 3.

**Содержание разделов: 7 семестр.** Заряд, уравнение непрерывности. Общие свойства электрических и магнитных полей. Общая теория электромагнитного поля. Нахождение векторного поля по его дифференциальным характеристикам. Основные понятия электродинамики. Заряды и общие свойства электростатических полей. Уравнение непрерывности. Система уравнений Максвелла. Потенциалы электромагнитного поля, четырехпотенциал. Энергия и импульс электромагнитных полей. Система уравнений Максвелла-Лоренца. Законы сохранения энергии и импульса в электромагнитном поле. Потенциалы электромагнитного поля. Электростатическое поле. Разложение потенциала по мультиполям. Дипольный момент системы зарядов и его свойства. Квадрупольный момент и его свойства. Работа и энергия во внешнем электростатическом поле. Энергия взаимодействия заряд-диполь и диполь-диполь. Энергия взаимодействия системы зарядов и энергия электромагнитного поля. Калибровочная инвариантность. Поля движущихся зарядов. Калибровочная инвариантность. Калибровки. Квазистационарные магнитные поля. Поле системы зарядов, совершающих медленное квазистационарное движение. Поле одиночного заряда, совершающего медленное равномерное движение. Электромагнитное поле за-

рядов, движущихся с постоянной скоростью. Нестационарное движение зарядов. Поле системы зарядов на больших расстояниях от системы. Электромагнитное поле системы движущихся зарядов. Потенциалы Лиенара-Вихерта. Поле произвольно движущегося точечного заряда. Электромагнитное излучение. Свойства электромагнитных волн. Волновое уравнение. Метод Даламбера. Запаздывающие и опережающие потенциалы. Общее решение уравнения Даламбера в виде запаздывающих потенциалов. Теория излучения. Потенциалы электромагнитного поля вдали от излучателя в дипольном приближении. Электромагнитное поле дипольного излучения. Вектор Пойнтинга. Интенсивность излучения. Дипольное излучение простейших систем. Циклотронное излучение. Реакция излучения. Ширина излучаемых линий. Спектральное разложение излучения. Волновая и квазистатическая зоны. Электромагнитное поле в вакууме. Распространение волн вдали от излучателя. Поляризация плоской волны. Интерференция и образование волновых пакетов. Рассеяние электромагнитных волн свободными и связанными зарядами. Сечение рассеяния. Дисперсионная формула классической электродинамики. Рэлеевское рассеяние. Формула Томсона. Поглощение излучения. Движение заряженных частиц в электромагнитных полях. Движение заряженных частиц в постоянных полях. Фокусировка частиц электростатическим и магнитным полями. Дрейф частиц. Траектории движения. Движение заряженных частиц в медленно меняющихся полях. Магнитное зеркало. Взаимодействие заряженных частиц. Рассеяние заряженных частиц. Методика расчетов параметров рассеяния в системе координат центра инерции и в лабораторной системе отсчета. Излучение при рассеянии.

#### **Аннотация дисциплины** **Ядерная физика – Б1.В.8**

**Цель дисциплины:** заключается в изучении ядерных и нейтронно-физических процессов, происходящих в ядерных реакторах и установках термоядерного синтеза и приобретение навыков решения задач для различных процессов.

**Место дисциплины в структуре ОПОП ВО:** Дисциплина относится к части формируемой участниками образовательных отношений блока 1 дисциплин по направлению подготовки бакалавров 14.03.01 Ядерная энергетика и теплофизика. Количество зачётных единиц - 2.

**Содержание разделов: 6 семестр.** Строение атома и элементарные частицы. Атомы. Атомная масса. Число Лошмидта. Число Авогадро. Число атомов в единице объема. Размеры атомов. Ядерная структура атома. Атом Резерфорда-Бора. Строение атомного ядра. Протон-электронная модель. Протон-нейтронная модель. Состав ядра. Квантовая механика. Дифракция. Частица и волна. Постулаты де Бройля. Длина волны частицы. Соотношение неопределенностей. Элементы специальной теории относительности. Масса, энергия, импульс. Кинетическая энергия. Задача атома при испускании электрона. Удельный импульс. Пороги рождения частиц. Порог эндонергетической ядерной реакции. Ядерные эффективные сечения. Определения. Плоская мишень. Объемная мишень. Средняя длина пути. Элементарные частицы. Регистрация микрочастиц. Элементарные частицы. Многообразие частиц. Классификация. Физические параметры. Парная природа. Взаимопревращаемость. Классы взаимодействий. Физические свойства атомных ядер. Заряд ядра. Определения. Закон Мозли. Размер ядра. Моменты ядер. Спин. Магнитный момент. Электрический квадрупольный момент. Масса ядра и энергия связи. Масса частиц в связанном состоянии. Масса ядра и масса атома. Массовая единица. Масс-спектрометрия. Метод ядерных реакций. Дефект массы. Энергия связи, особенности энергии связи. Области бета-распадов. Получение свободной энергии. Ядерные силы. Основные свойства. Кулоновский и ядерный потенциалы ядра. Модели ядер. Возбужденные состояния ядер. Возбуждение и распад. Энергетический спектр ядра. Особенности ядерных спектров. Ширина уровней. Ядерные превращения. Радиоактивность. Определение. Закон распада. Характеристики распада. Статистиче-

ский характер распада. Накопление радиоактивности. Цепочка превращений. Единицы активности. Альфа-распад. Условие распада. Объяснение распада. Сравнение с опытом. Границы устойчивости. Радиоактивные семейства. Бета-распад. Условие распада. Типы распада. Энергия распада. Бета-спектрометр. Бета-спектр. Теория распада. Сравнение с опытом. Схема испускания запаздывающих нейтронов. Распад из возбужденных состояний. Гамма-излучение ядер. Время испускания гамма-кванта. Ядерная изомерия. Распространенность изомеров. Конверсия с образованием пары. Ядерные реакции. Определения. Механизм составного ядра. Энергия возбуждения. Ограничения по энергии и спину. Обоснование механизма составного ядра. Прямое взаимодействие. Закон сохранения энергии. Закон сохранения импульса. Закон сохранения механического момента. Другие законы сохранения. Вклад кинетической энергии в энергию возбуждения. Выход реакции. Реакции под действием заряженных частиц. Нейтронные реакции. Активация нейтронами. Ядерный фотоэффект. Деление тяжелых ядер. Возможность деления. Делимые и делящиеся нуклиды. Механизм деления. Энергия деления. Остаточное энерговыделение. Продукты деления. Нейтроны деления. Запаздывающие нейтроны. Взаимодействие движущихся частиц с веществом. Осколки деления. Параметры осколков деления. Механизм потерь энергии. Электроны. Специфика электронов. Ионизация. Релятивистские электроны. Тормозное излучение. Рассеяние электронов. Пробеги электронов. Гамма-кванты. Определения. Фотоэффект. Комптон-эффект. Процесс образования пары. Протяженная защита от гамма-квантов. Нейтроны. Рассеяние и реакции. Энергетическая схема. Формула Брейта-Вигнера. Параметры резонансов. Допплер-эффект. Следствия из формулы Брейта-Вигнера. Энергетические области. Быстрые нейтроны. Промежуточные нейтроны. Тепловые нейтроны. Влияние химической связи.

#### **Аннотация дисциплины**

##### ***Нейтронная физика управляемого термоядерного синтеза – Б1.В.9***

**Цель дисциплины:** изучение основ нейтронной физики, приобретение теоретических и практических навыков, необходимых для научно-исследовательской, проектной, технологической и производственной деятельности в области нейтронной и атомной физики управляемого термоядерного синтеза.

**Место дисциплины в структуре ОПОП ВО:** Дисциплина относится к части формируемой участниками образовательных отношений блока 1 дисциплин по направлению подготовки бакалавров 14.03.01 Ядерная энергетика и теплофизика. Количество зачётных единиц - 4.

**Содержание разделов: 7 семестр.** Характеристики нейтронов и реакции взаимодействия излучения с веществом. Открытие нейтрона. опыты Резерфорда, Бете-Беккера, Жолио-Кюри, Чедвика. Энергия связи и радиус ядра. Свойства нейтрона. Масса нейтрона, время жизни, спин, магнитный момент нейтрона. Опыт Альвареса-Блоха. Энергия связи и радиус ядра. Взаимодействие нейтронов с ядрами. Энергетические интервалы нейтронов. Прямое взаимодействие и взаимодействие через составное ядро. Реакции взаимодействия нейтронов с ядрами. Деление ядер. Взаимодействие фотонов с веществом. Взаимодействие заряженных частиц с веществом. Сечения взаимодействия излучения с веществом. Теоретические основы переноса излучений. Дифференциальные и интегральные характеристики поля излучения. Поточковые, токовые и дозовые характеристики поля излучения. Уравнение переноса излучений. Диффузия нейтронов. Замедление нейтронов. Теория возраста. Численные методы решения уравнения переноса излучений. Общая характеристика методов. Детерминистские численные методы. Метод Монте-Карло в задачах переноса излучений. Асимптотические и полуэмпирические методы расчета переноса излучений. Регистрация ядерных излучений и диагностика нейтронов. Эксперименты с источниками нейтронов 14 МэВ. Методы регистрации ядерных излучений. Дозиметрия, радиометрия и спектрометрия излучений. Диагностический комплекс ITER. Нейтронные диагностики

в полномасштабных экспериментах ядерного синтеза: обзор систем JET. Спектрометрия нейтронов на JET. Время пролетный спектрометр. Спектрометры с протонами отдачи. Магнитный спектрометр. Обоснование нейтронных данных в интегральных экспериментах с источниками нейтронов 14 МэВ. Радиационные повреждения конструкционных материалов. Общая характеристика. Радиационный каскад. Типы радиационных повреждений. Пороговая энергия смещения атома. Влияние облучения на изменения свойств. Параметры, определяющие эффекты радиационного повреждения. Поглощение нейтронов топливными и конструкционными материалами. Радиационное распухание (свелинг). Влияние облучения на коррозию. Отжиг радиационных повреждений. Требования к конструкционным материалам. Ограничения конструкционных материалов. Макроскопические эффекты деградации. Малоактивируемые материалы. Кинетика спада радиоактивности элементов. Ферритно-мартенситные стали (ФМС). Преимущества ферритно-мартенситных сталей по сравнению с аустенитными. Высокохромистые ферритно-мартенситные стали. Недостатки сталей ферритно-мартенситного класса. Температура вязко-хрупкого перехода. Механизм вязко-хрупкого перехода. Причина появления низкотемпературного радиационного охрупчивания. Топливный цикл ядерной энергетики с установками деления и синтеза ядер. Понятие ядерного топливного цикла и его особенности. Топливный цикл реакторов деления. Типы топливного цикла в зависимости от вида ядерного горючего. Виды ядерного топливного цикла с реакторами деления. Этапы ядерного топливного цикла. Дейтерий-тритиевый топливный цикл термоядерного источника нейтронов (ТИН). Топливный цикл ядерной энергетики с реакторами деления и синтеза. Производство делящихся изотопов в термоядерных реакторах. Реакторы деления и синтеза в объединённом топливном цикле. Ториевый цикл в ядерной энергетической системе с реакторами деления и синтеза. Предпосылки к практической реализации гибридного термоядерного реактора. Термоядерный источник нейтронов и проблемы атомной энергетики. Виды термоядерных реакций их реализуемость. Критерий Лоусона. Конструкции установок управляемого термоядерного синтеза на основе реакции взаимодействия изотопов дейтерия и трития. Реакции ядерного синтеза, сопровождающиеся образованием нейтронов, в дейтерий-тритиевой плазме. Возникающие проблемы. Источники радиоактивного загрязнения термоядерных установок. «Зелёная» энергетика. Проблемы ядерной и термоядерной энергетики. Гибридный термоядерный реактор (термоядерный источник нейтронов – ТИН). Задачи ТИН. Проблемы нейтронно-физических исследований чистого и гибридного ядерного синтеза. Потенциальные преимущества гибридных систем.

#### **Аннотация дисциплины**

#### ***Основы физики плазмы – Б1.В.10***

**Цель дисциплины:** изучение основ физики плазмы на уровне основных понятий и понятий, с целью использования полученных знаний в научной работе, а также при изучении дальнейших дисциплин.

**Место дисциплины в структуре ОПОП ВО:** Дисциплина относится к части формируемой участниками образовательных отношений блока 1 дисциплин по направлению подготовки бакалавров 14.03.01 Ядерная энергетика и теплофизика. Количество зачётных единиц - 4.

**Содержание разделов: 7 семестр.** Плазма: основные понятия и характеристики. Движение частиц во внешних полях. Упругие столкновения в плазме. Введение. Уравнения Максвелла. Распределения Больцмана и Максвелла. Понятие температуры. Понятие плазмы. Плазменная частота и дебаевский радиус. Дебаевское экранирование. Плазменный параметр. Способы описания плазмы. Равновесие ионизации в плазме. Константа равновесия. Формула Саха. Статвесы уровней в атомах. Одночастичное приближение. Движение частиц в магнитном поле. Ларморовский радиус и циклотронная частота. Дрейфы: в скрещенных полях, в неоднородном маг-

нитном поле, центробежный, в неоднородном электрическом поле. Движение частиц в переменных полях. Магнитное зеркало и пробкотрон. Адиабатический нагрев плазмы магнитным полем. Столкновения. Основные понятия. Транспортное сечение. Столкновение электронов с нейтралами. Столкновение электронов с ионами. Транспортное сечение в кулоновских соударениях. Кулоновский логарифм. Релаксация энергии и импульса в соударениях. Релаксация пучка с большой и малой энергией. Выравнивание температур различных компонент. Проводимость плазмы- полностью ионизованной и слабоионизованной. Убегающие электроны. Гидродинамические модели. Коэффициенты переноса в замагниченной плазме. Плазма как жидкость. Сравнение с одночастичным и кинетическим приближением. Диамагнитный дрейф. МГД приближение. Магнитное и газовое давление. Вмороженность и диффузия магнитного поля. Магнитное число Рейнольдса. Сжатие плазмы поперек и вдоль силовых линий, показатель адиабаты. Двухкомпонентные и многокомпонентные модели. Проводимость замагниченной плазмы. Холловский ток. Диффузия и дрейф. Соотношения Эйнштейна. Амбиполярная диффузия. Диффузия в магнитном поле. Диамагнитный (градиентный) дрейф. Анизотропия дрейфа и диффузии в магнитном поле. Соотношение между гидродинамическим и одночастичным приближением. Волны в плазме. Методы волновой диагностики плазмы. Колебания и волны в плазме. Основные понятия, комплексная амплитуда и волновой вектор. Вывод уравнения для волн в замагниченной плазме. Волны в плазме без магнитного поля. Диэлектрическая проницаемость плазмы. Методы СВЧ и лазерной диагностики. Волны в холодной плазме в магнитном поле. Альфвеновские и магнитозвуковые волны. Волны вдоль поля. LCP, RCP волны. Волны поперек поля. Обыкновенная и необыкновенная волны. Гибридные частоты. Дисперсия волн в магнитном поле. Волны в горячей плазме. Звук. Ионный и электронный звук. Дисперсия ионного и электронного звука. Влияние электрон-ионных столкновений на затухание волн. Отражение волны от границы плазмы. Скин-слой: высокочастотный, низкочастотный, аномальный. Нелинейное взаимодействие волны с электронами. Высокочастотное давление и сжатие плазмы излучением. Кинетическое описание плазмы. Кинетическая теория. Функция распределения и её моменты. Уравнения Больцмана и Власова. Затухание Ландау. Уравнение Больцмана. Дрейфово-диффузионное приближение. Проводимость плазмы в кинетическом приближении. Пристенные явления в плазме. Зондовые методы диагностики. Объемный заряд в плазме. Теория зонда. Плоский диод. Размытие пучка в собственном поле.

#### **Аннотация дисциплины**

#### ***Элементарные процессы в плазме – Б1.В.11***

**Цель дисциплины:** изучение основ физики элементарных процессов в плазме для последующего использования полученных знаний при освоении последующих профильных дисциплин.

**Место дисциплины в структуре ОПОП ВО:** Дисциплина относится к части формируемой участниками образовательных отношений блока 1 дисциплин по направлению подготовки бакалавров 14.03.01 Ядерная энергетика и теплофизика. Количество зачётных единиц - 3.

**Содержание разделов: 7 семестр.** Взаимодействие частиц в плазме. Взаимодействие плазмы с поверхностями материалов. Элементарные процессы, характерные параметры. Особенности сечений элементарных процессов в высокотемпературной плазме. Взаимодействие электронов, ионов и излучений высокотемпературной плазмы с конструкционными материалами установок термоядерного синтеза. Дифференциальные и интегральные сечения процессов упругого и неупругого рассеяния; моменты сечений, характерные пробеги и их физический смысл. Сечения упругого рассеяния. Сечение Резерфорда. Степенная аппроксимация упругих

сечений. Процессы рассеяния атомных частиц в высокотемпературной и низкотемпературной плазме. Упругое рассеяние электронов на атомах. Атом-атомное упругое рассеяние, обратное резерфордское рассеяние, спектроскопия рассеяния медленных ионов, полуфеноменологические потенциалы упругого рассеяния. Сечения неупругого рассеяния. Теория Томпсона. Процесс ионизации. Теория Бете-Блоха. Неупругое рассеяние электронов, Оже-процесс. Неупругое атом-атомное рассеяние, критерий Мессе. Основные виды процессов парного соударения частиц в плазме и их характеристики. Теория Томпсона тройного процесса. Сечение ионизации, формула Бете-Блоха. Плазма твердого тела, рассеяние на плазмонах. (8 часов). Нелокальные потери энергии. Квантовомеханический подход. Классическая дисперсионная теория. Операторы, собственные функции, собственные значения. Уравнения Шредингера. Прохождение частиц и их отражение от потенциальных барьеров. Прохождение частиц и их отражение от потенциальных барьеров. Альфа распад, автоионизация. Водородоподобные системы. Статистическая модель атома. Двухатомная молекула. Упругие и неупругие столкновения частиц. Квантовая теория рассеяния частиц. Борновское приближение. Эксперименты по угловым распределениям упруго-отраженных электронов и ионов. Многократное упругое рассеяние. Формирование угловых распределений упруго-отраженных электронов и ионов. Апробация дифференциальных сечений упругого рассеяния. Эксперименты по характеристическим потерям энергии. Торможение частиц в плазме. Экспериментальные методы измерения сечений, эффекты многократного рассеяния. Отрицательные ионы. Методы определения энергии связи электрона в отрицательном ионе. Образование отрицательных ионов. Фотораспад отрицательных ионов. Разрушение отрицательных ионов при столкновении с атомами.

#### **Аннотация дисциплины**

##### ***Вакуумные системы плазменных установок – Б1.В.12***

**Цель дисциплины:** изучение принципов, методов и средств вакуумной откачки в плазменных установках.

**Место дисциплины в структуре ОПОП ВО:** Дисциплина относится к части формируемой участниками образовательных отношений блока 1 дисциплин по направлению подготовки бакалавров 14.03.01 Ядерная энергетика и теплофизика. Количество зачётных единиц - 4.

**Содержание разделов: 7 семестр.** Основы вакуумной техники. Физические процессы в вакууме. Явления переноса. Элементы физики вакуума. Понятие вакуума. История вакуумной техники, области ее применения. Место вакуумной технологии в плазменных установках. Основные понятия, основное уравнение вакуумной техники. Физические процессы в вакууме. Явления переноса. Процессы на поверхности твердых тел. Явление сорбции. Течение газа в вакууме. Течение газа в вакууме. Режимы течения. Проводимость каналов, трубопроводов, отверстий. Расчёт времени откачки вакуумных систем. Принципы вакуумной откачки. Молекулярная откачка. Методы и средства получения вакуума. Общая характеристика вакуумных насосов. Объемная откачка. Пароструйная откачка. Молекулярная откачка. Процессы на поверхности твердых тел. Сорбция. Насосы поверхностного действия. Криогенная откачка. Основы проектирования вакуумных систем. Типовые вакуумные системы. Расчет и проектирование вакуумных систем. Типовые вакуумные системы. Методика выбора средств вакуумной откачки. Графическая проверка правильности выбора вакуумных насосов и определение совместности их работы. Методика проектировочного расчета. Некоторые вопросы высоковакуумной технологии. Материалы, используемые в высоковакуумной технике. Технология изготовления разъемных и неразъемных соединений. Технология подготовки высоко- и сверхвысоковакуумных установок. Основы вакууметрии. Масс-спектрометрия. Методы измерения общих (полных), парциальных давле-

ний. Течеискатели. Методы спектрометрии. Схемы течеискания. Гелиевый течеискатель. Галогенный течеискатель.

#### **Аннотация дисциплины**

##### ***Методы инженерных расчетов – Б1.В.13***

**Цель дисциплины:** изучение методов инженерных расчетов теплогидравлических процессов и их реализация с помощью современных программных средств.

**Место дисциплины в структуре ОПОП ВО:** Дисциплина относится к части формируемой участниками образовательных отношений блока 1 дисциплин по направлению подготовки бакалавров 14.03.01 Ядерная энергетика и теплофизика. Количество зачётных единиц - 2.

**Содержание разделов: 7 семестр.** Архитектура современных CFD кодов. Общие принципы использования программных комплексов для инженерного анализа задач гидродинамики и теплообмена. Этапы математического моделирования. Основные этапы численного решения задачи на компьютере. Современные вычислительные методы исследования физических процессов. Пакетные технологии при решении задач механики жидкости и газа. Принципы инженерного анализа при использовании пакетов вычислительной гидродинамики. Составные элементы программного комплекса вычислительной гидродинамики. Математическое описание процессов гидродинамики и теплообмена. Дифференциальные уравнения движения, уравнение неразрывности, уравнение энергии, дополнительные уравнения, необходимые для замыкания математической модели. Особенности численного моделирования турбулентных течений. Модели турбулентности, их преимущества и недостатки. Граничные условия для задач гидродинамики и теплообмена. Метод контрольного объема для численного решения системы дифференциальных уравнений сохранения. Постановка задачи. Создание геометрии расчетной области и расчетной сетки. Оценка сложности геометрии реальной задачи, введение допустимых упрощений. Структура программы построения геометрии расчетной области (препроцессора), основные разделы и функции. Принципы создания двухмерных и трехмерных объектов. Построение сетки контрольных объемов, правила сгущения узлов вблизи термогидродинамически нагруженных областей. Особенности построения сетки вблизи стенки для турбулентных течений. Оценка корректности созданной пространственной стеки. Формулировка граничных условий и выделение анализируемых объектов. Решение задачи. Визуализация и анализ полученных результатов численного моделирования гидродинамики и теплообмена. Обработка созданного в препроцессоре геометрического объекта. Определение используемых математических моделей для анализа процессов переноса массы, импульса и энергии. Выбор модели турбулентности. Выбор дополнительных специальных моделей. Принципы задания физических свойств среды. Детализация граничных условий. Выбор численных алгоритмов реализации задачи и определение внутренних параметров используемых методов. Настройка менеджера задач, для отображения хода вычислительного процесса, контроля сходимости решения. Обработка полученных результатов. Построение полей скоростей, температуры, давления, концентрации и других искомым скалярных и векторных величин. Принципы построения контурных карт (изолинии определяемых величин). Анализ интегральных параметров явления.

#### **Аннотация дисциплины**

##### ***Физика ядерных реакторов – Б1.В.14***

**Цель дисциплины:** получение основных сведений о физических процессах, протекающих в ядерных реакторах, и их конструктивных особенностях, а также получение первичных 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 бакалавров 14.03.01 Ядерная энергетика и теплофизика. Количество зачётных единиц - 6.

**Содержание разделов: 7 семестр.** Обзор конструкций ядерных реакторов. Основные элементы реактора. Ядерный реактор. Физическая классификация реакторов. Коэффициент размножения нейтронов в бесконечной среде. Возможные представления цикла размножения нейтронов. Эффективный коэффициент размножения. Основные понятия физики ЯР: поток нейтронов, спектр нейтронов, и пр. Гомогенный реактор без отражателя. Уравнение реактора в диффузно-возрастном приближении. Одногрупповое приближение. Геометрический параметр и распределение потока нейтронов по объему реактора. Квазикритическое приближение. Гомогенный однозонный реактор с отражателем в одногрупповом и двух групповом приближении. Эффективная добавка. Реактор без отражателя, эквивалентный реактору с отражателем. Многозонный реактор. Условие критичности двухзонного реактора с отражателем в одногрупповом приближении. Физические особенности гетерогенного реактора. Классификация реакторных решеток. Основные предположения и допущения в теории решетки. Принципы гомогенизации ячеек. Метод вероятностей первых столкновений (ВПС). Основные понятия метода ВПС. Соотношения между вероятностями. Расчет ВПС в разреженных и тесных решетках. Коэффициент размножения на быстрых нейтронах. Расчет коэффициента размножения на быстрых нейтронах для различных решеток. Зависимость этого коэффициента от параметров решетки и ее компонентов. Замедление и поглощение нейтронов. Основные расчётные методы. Диффузионное приближение. Вероятность избежать резонансного поглощения. Применение метода ВПС для расчета эффективного резонансного интеграла. Расчет эффективного резонансного интеграла поглощения в различных решетках. Учет энергетической и пространственной экранировок, взаимного затенения блоков, замедления внутри блока, температурных эффектов. Зависимость вероятности избежать резонансного поглощения от параметров решетки и ее компонентов. Коэффициент использования тепловых нейтронов. Относительное вредное поглощение. Блок-эффект. Особенности расчета в различных ячейках. Спектры нейтронов и усреднение сечений в области тепловых энергий. Зависимость коэффициента использования тепловых нейтронов от параметров решетки и ее компонентов. Число вторичных нейтронов деления на один поглощенный топливом первичный нейтрон. Расчет длин диффузии и замедления в различных решетках. Зависимость возраста и квадрата длины диффузии нейтронов от температуры и параметров решетки. Зависимость материального параметра от отношения объемов замедлителя и топлива. Выбор оптимального варианта решетки. Расчёт коэффициента размножения нейтронов в ячейке реактора по формуле "4х сомножителей". Водо-водяные энергетические реакторы (ВВЭР). Нейтронно-физические особенности. Компенсация реактивности и способы регулирования реактора. Коэффициенты неравномерности энерговыделения. Перегрузка и выгорание топлива. Этапы нейтронно-физического расчета реактора. Оценочный расчет коэффициента размножения. Водо-водяные кипящие реакторы (ВК). Нейтронно-физические особенности. Взаимосвязь нейтронно-физического и теплогидравлического расчетов. Сравнение характеристик реакторов типа ВК и ВВЭР. Канальные реакторы. Нейтронно-физические особенности и оценочный расчет канальных реакторов. Высокотемпературные реакторы. Нейтронно-физические особенности и оценочный расчет этих реакторов. Реакторы на быстрых нейтронах. Основные нейтронно-физические особенности (спектр нейтронов, воспроизводство делящихся материалов, запас реактивности, температурные эффекты). Особенности нейтронно-физического расчета. **8 семестр.** Шлакование и отравление реактора. Эффекты и коэффициенты реактивности. Последовательность нейтронно-физического расчета реактора. Подготовка библиотек констант. Гомогенизация ячейки. Расчет макроячейки, полиячейки, гомогенного реактора. Обзор методов решения

уравнения переноса нейтронов. Программы расчета реакторных ячеек на ЭВМ. Физические модели и методы подготовки многогрупповых микроскопических констант и расчета ячеек. Этапы расчета реакторной ячейки. Спектральная и пространственная задачи. Редактирование. Режимы работы программ. Расчеты состояния, выгорания топлива, эффектов реактивности. Тепловыделение в ядерном реакторе. Теплогидравлический расчёт активной зоны ядерного реактора. Гидродинамика и теплообмен в ядерных энергетических реакторах. Гидравлические потери давления для случаев применения однофазного и кипящего теплоносителей. Теплообмен для случаев применения однофазного, кипящего и двухкомпонентного теплоносителей. Критические тепловые нагрузки. Кризис теплообмена. Тепловой расчет энергетических реакторов, охлаждаемых однофазным теплоносителем. Формирование расчетной ячейки. Распределение температуры по высоте ТВЭЛа и по сечению расчетной ячейки. Расчет температуры замедлителя в графитовых реакторах. Теплогидравлический расчет кипящих реакторов. Расчет водо-водяного кипящего реактора. Теплогидравлический расчет высокотемпературных газовых реакторов. Схемы движения шаровых ТВЭЛов в активной зоне. Распределение температуры в шаровом ТВЭЛе. Расчет температурного режима теплоносителя в активной зоне. Мгновенные и запаздывающие нейтроны. Кинетика и динамика реактора. Влияние обратных связей. Программы расчета реакторов. Физические модели и методы расчета реакторов. Режимы работы программ. Расчеты состояний, эффективности СУЗ, эффектов и коэффициентов реактивности, выгорания топлива. Структура и этапы нейтронно-физического проектирования энергетического реактора. Классификация экспериментов. Зависимость особенностей эксперимента от способа использования получаемой информации. Взаимосвязь расчетных и экспериментальных исследований. Нейтронно-физические характеристики, определяемые в экспериментах на сборках и реакторах. Сравнение экспериментов на реакторах, подкритических и критических стендах. Энерговыведение в реакторе. Организация теплоотвода. Энерговыведение в активной зоне реактора, в корпусе, в конструкционных материалах, в элементах биологической защиты. Распределение энерговыведения. Локальные и технические коэффициенты неравномерности. Эффекты реактивности. Остаточное тепловыделение. Мгновенные и запаздывающие нейтроны. Кинетика и динамика реактора. Влияние обратных связей. Режимы работы энергетического ядерного реактора. Контроль работы реактора. Принципиальная схема управления ядерным реактором. Штатные и аварийные режимы работы реактора. Понятие о нестационарных процессах в реакторе. Переходные режимы. Отравление. Шлакование. Вопросы безопасности ядерных реакторов. Анализ аварийных ситуаций и аварий. Средства предупреждения и предотвращения аварий. Средства локализации аварий.

#### **Аннотация дисциплины** ***Ядерная безопасность – Б1.В.15***

**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 бакалавров 14.03.01 Ядерная энергетика и теплофизика. Количество зачётных единиц - 2.

**Содержание разделов: 8 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. Вза-

имодействие 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. Альbedo фотонного излучения. Уравнение переноса. Методы решения. Характеристики источников нейтронов. Закономерности формирования пространственно-энергетического распределения нейтронов в основных материалах. Альbedo 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. 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.

#### **Аннотация дисциплины**

##### ***Технологии возобновляемых и альтернативных источников энергии – Б1.В.16***

**Цель дисциплины:** изучение физических основ новых и возобновляемых источников энергии, приобретение практических навыков по расчету и применению энергоустановок, использующих возобновляемые источники энергии.

**Место дисциплины в структуре ОПОП ВО:** Дисциплина относится к части формируемой участниками образовательных отношений блока 1 дисциплин по направлению подготовки бакалавров 14.03.01 Ядерная энергетика и теплофизика. Количество зачётных единиц - 2.

**Содержание разделов: 8 семестр.** Традиционная и альтернативная энергетика, основные понятия. Энергия и энергетика, основные определения. Энергетический баланс Земли, понятие энергетических ресурсов. ВИЭ, потенциалы ВИЭ. Изменение климата и ВИЭ. Основные тенденции развития мировой и российской энергетики. Роль ВИЭ в развитии мировой и российской энергетики. Солнечная энергетика: солнечное излучение на приемник. Основные понятия солнечной энергетики. Солнечное излучение: основные определения, расчет положения солнца на небе. Солнечный спектр. Пиранометры. Методика расчета солнечного излучения на приемник. Солнечная фотоэлектрическая энергетика. Классификация материалов по электропроводности. Полупроводники. Типы полупроводников. Возбуждение зарядов. Энергия Ферми. Допирование полупроводников. Виды проводимости. Механизмы движения зарядов. Возбуждение и рекомбинация зарядов. Время жизни зарядов. P-n переход. Принцип действия полупроводникового

фотоэлектрического преобразователя. КПД ячейки солнечного элемента, пример испытаний ячейки. Вольт-амперная характеристика идеального солнечного элемента. Основы конструкции ячейки СЭ. Потери в ячейке, максимальный КПД. Кремниевые солнечные элементы. Классификация. Производство кремниевых пластин. Конструкции типичных и перспективных кремниевых солнечных элементов: моно- и мультикристаллические, гетероструктуры, тонкопленочные кремниевые солнечные элементы. Солнечные элементы на переходе III-V. Ячейка на тройном переходе. Многопереходные тонкопленочные элементы. Перспективы развития солнечных элементов. Принципы создания солнечных модулей и батарей солнечных элементов. Солнечная энергоустановка киловаттного класса мощности. Пример расчета параметров солнечной энергоустановки. Солнечные электростанции в России и в мире. Солнечная теплоэнергетика. Типы солнечных коллекторов. КПД солнечных коллекторов. Системы солнечного теплоснабжения. Солнечные тепловые электростанции. Пассивные системы солнечного теплоснабжения. Солнечные охладители. Солнечные опреснители. Перспективы развития солнечной энергетики. Ветровая энергетика. Циркуляция атмосферы. Потенциалы ветра. Ветроэнергетика: аэродинамика ветрогенераторов. Закон Беца. Основные понятия аэродинамики лопасти ветроколеса. Типы ветрогенераторов. Ветроэнергетика: конструкция ветрогенераторов. Механические аспекты. Электрическая часть. Разработка и испытания. Размещение. Перспективы развития ветроэнергетики. Прочие виды ВИЭ. Геотермальная энергетика: основные понятия, терминология, геотермальные ресурсы. Принципы построения геотермальных станций. Малая гидроэнергетика, основные понятия, потенциал малой гидроэнергетики, отличия от крупных ГЭС, конструкции малых гидроагрегатов. Энергия океанов: энергия волн, приливов и течений, использование градиента температуры и солености морских вод. Биоэнергетика, основные понятия, ресурсы биомассы, сбор, транспортировка, подготовка. Сжигание биомассы и биологические методы получения теплоты. Биомасса: термохимические методы переработки. Биомасса: биологические методы переработки. Перспективы развития ВИЭ. Перспективы развития возобновляемой и альтернативной энергетики, концепция устойчивого развития и возобновляемая энергетика. Подведение итогов изучения курса.

#### **Аннотация дисциплины**

#### ***Магнитное удержание плазмы – Б1.В.17***

**Цель дисциплины:** изучение физических основ магнитного удержания плазмы для осуществления управляемого термоядерного синтеза.

**Место дисциплины в структуре ОПОП ВО:** Дисциплина относится к части формируемой участниками образовательных отношений блока 1 дисциплин по направлению подготовки бакалавров 14.03.01 Ядерная энергетика и теплофизика. Количество зачётных единиц - 4.

**Содержание разделов: 8 семестр:** Проблема УТС и подходы к ее решению. Проблема УТС. Возможные топливные циклы. Постановка задачи об энергобалансе в плазме, критерий Лоусона; различные подходы к получению термоядерной энергии. Вопросы удержания плазмы магнитным полем. Вопросы инерциального подхода в УТС. Современное состояние работ по УТС и перспективы термоядерной энергетики. Равновесие плазмы в магнитном поле. Равновесие плазмы в магнитном поле. Равновесие плазменного разряда с током. Равновесие тороидального плазменного разряда с током. Устойчивость равновесной плазмы в магнитном поле. Устойчивость равновесной плазмы в магнитном поле. Плазменные неустойчивости. МГД – неустойчивость. Винтовая неустойчивость. Дрейфовая неустойчивость. Процессы переноса в плазме. Процессы переноса в плазме. Процессы переноса в плазме без магнитного поля. Диффузия слабоионизованной плазмы без магнитного поля. Подвижность электронов и ионов в слабоионизованной плазме без магнитного поля. Проводимость плазмы. Диффузионный перенос в

плазме с магнитным полем. Перенос поперек магнитного поля. Диффузия полностью ионизованной плазмы поперек магнитного поля. Об амбиполярной диффузии поперек магнитного поля. Термодиффузия. О процессах переноса в тороидальных магнитных конфигурациях. Запертые частицы и банановые траектории. Систематизация неустойчивостей. Микронеустойчивости плазмы и аномальная диффузия. Радиационные потери энергии из плазмы. Циклотронное излучение. Тормозное излучение. Рекомбинационное излучение. Методы нагрева плазмы. Методы нагрева плазмы. Нагрев плазмы инъекцией быстрых атомов. Волновые методы нагрева плазмы в термоядерных установках. Поддержание стационарного тока в токамаке. Энергобаланс в термоядерном реакторе с магнитным удержанием. Баланс частиц и энергии в термоядерном реакторе с магнитным удержанием плазмы. Виды установок с магнитным удержанием. Виды термоядерных установок с магнитным удержанием плазмы и их сравнительные характеристики.

### **Аннотация дисциплины**

#### ***Экспериментальные термоядерные и плазменные установки – Б1.В.18***

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

**Место дисциплины в структуре ОПОП ВО:** Дисциплина относится к части формируемой участниками образовательных отношений блока 1 дисциплин по направлению подготовки бакалавров 14.03.01 Ядерная энергетика и теплофизика. Количество зачётных единиц - 2.

**Содержание разделов: 8 семестр.** Реакции термоядерного синтеза, представляющие интерес для УТС и способы их осуществления. Реакции термоядерного синтеза, представляющие интерес для УТС и способы их осуществления, сечения, энергетические зависимости. Критерии термоядерного зажигания. Варианты blankets: тритий-воспроизводящий, гибридный. Инерциальный синтез: H-бомбы, «адиабатические мишени», лазерный синтез, прямое сжатие, hohlraum-модель. Расчет энергии и потоков заряженных частиц. Расчет магнитной термоизоляции. Радиус Лармора, радиус Дебая, ленгмюровский слой, кулоновские столкновения, длины пробегов, сечения рассеяния, сравнение с сечениями синтеза. Расчет магнитной термоизоляции. Расчет энергии и потоков заряженных частиц в установках с магнитным удержанием плазмы. Энергия и потоки заряженных частиц, падающих из плазмы на стенку термоядерных установок без или вдоль магнитного поля. Перенос плазмы поперек магнитного поля. Критика пролетотрона. Поперечный магнитный инвариант. Открытые ловушки. Конус потерь. Расчет различных систем магнитного удержания плазмы. Расчет характеристик магнитного удержания плазмы в различных системах. Роль столкновений: установление распределения Максвелла, выравнивание температур ионов и электронов. Рекуперация энергии частиц, уходящих в торцы открытых магнитных ловушек. Основные виды плазменных неустойчивостей в открытых ловушках. Принцип  $\min B$  – локальный и “в среднем” для открытых и замкнутых магнитных ловушек. Предельные  $n\tau$  в открытых ловушках. Замкнутые магнитные ловушки. Потери частиц в тороидальных магнитных ловушках. Токамаки и стеллараторы. Токамаки и стеллараторы. Создание магнитной конфигурации токамака и стелларатора. Предельные  $n\tau$  в токамаках, стеллараторах, тороидальных пинчах. Тороидальный дрейф, вращательное преобразование, запас устойчивости, магнитные и дрейфовые поверхности. Диверторные конфигурации. Решение проблем неустойчивости. Решение проблемы плазменных неустойчивостей в токамаках. Неоклассическая электропроводность. Бутстрэп-ток. Неоклассическое пинчевание. МГД–неустойчивости в токамаке. Винтовые неустойчивости: идеальная, диссипативная (тиринг), баллонная. Магнитные острова. Пределы устойчивости по  $q$  в токамаке. Неустойчивости срыва в токамаке: внутренний, предсрыв, срыв. Диаграмма Хьюелла. Способы нагрева плазмы в токамаке и стеллараторе. Расчет примесей и

способов их удаления. Взаимодействие плазмы со стенкой. Источники примесей в плазменных установках. Основные последствия присутствия примесей в плазме. Поведение примесей в замкнутых системах. Экранирование в области разрушенных магнитных поверхностей: легкие и тяжелые примеси, пределы по  $n_e$ . Способы удаления примесей. Методы подготовки стенок плазменных установок: очистка, применение защитных покрытий. Проблемы диверторных пластин. Радиационный бланкет. Термоядерный источник нейтронов. Инженерные проблемы ИТЭР.

#### **Аннотация дисциплины**

##### ***Криогенные и сверхпроводящие системы – Б1.В.19***

**Цель дисциплины:** изучение принципов, методов и средств вакуумной откачки в плазменных установках.

**Место дисциплины в структуре ОПОП ВО:** Дисциплина относится к части формируемой участниками образовательных отношений блока 1 дисциплин по направлению подготовки бакалавров 14.03.01 Ядерная энергетика и теплофизика. Количество зачётных единиц - 2.

**Содержание разделов: 8 семестр.** Криовакуумные системы (КВС) экспериментальных термоядерных установок (ЭТУ) и реакторов. Структура, состав, параметры, физические основы криовакуумных систем больших токамаков и реакторов, характеристика систем, режимы работы. Основы криогенной техники. Основные понятия. Классификация криогенных систем. Термины, определения. Классификация криогенных систем: рефрижераторы, ожижители, разделительные установки. Основные процессы получения низких температур. Обобщенный второй закон термодинамики. Термомеханические методы получения низких температур. Дросселирование. Детандирование. Вакуумная откачка. Сравнительный анализ термодинамической эффективности методов. Общие принципы построения схем криогенных установок. Общие принципы построения схем криогенных установок. Методы понижения давления прямого потока. Методика расчета и оптимизации параметров рабочего тела в криогенных установках. Методика расчета и оптимизации параметров рабочего тела в криогенных установках. Расчет удельной холодопроизводительности. Эксергетический КПД. Пример расчета. Сверхпроводящие магнитные системы экспериментальных термоядерных установок. Физические основы явления сверхпроводимости. Краткий обзор состояния научных исследований по проблеме. Технология изготовления сверхпроводящих кабелей. Структура, состав и режимы работы сверхпроводящих систем термоядерных установок и реакторов. Системы криогенного обеспечения больших токамаков и реакторов: характеристика систем, режимы работы. Системы криогенного обеспечения больших токамаков и реакторов: характеристика систем, режимы работы. Системы криогенного обеспечения больших токамаков: характеристика систем, режимы работы. Структура, состав, параметры систем криогенного обеспечения больших токамаков, характеристика систем, режимы работы. Системы криогенного обеспечения термоядерного реактора, характеристика систем, режимы работы.

#### **Аннотация дисциплины**

##### ***Методы измерения и анализа электрических величин – Б1.В.19***

**Цель дисциплины:** является изучение методов измерения основных электрических величин и приборов для регистрации и преобразования оптических сигналов, используемых при проектировании и эксплуатации систем сбора и обработки данных плазменных установок.

**Место дисциплины в структуре ОПОП ВО:** Дисциплина относится к части формируемой участниками образовательных отношений блока 1 дисциплин по направлению подготовки бакалавров 14.03.01 Ядерная энергетика и теплофизика. Количество зачётных единиц - 2.

**Содержание разделов: 8 семестр.** Осциллографические методы измерения параметров электрических сигналов. Источники электрических сигналов в физическом эксперименте Осциллографические методы измерений параметров электрических сигналов. Общая функциональная схема осциллографа. Электронно-лучевые трубки осциллографов. Виды осциллографических разверток. Синхронизация разверток. Входные каскады осциллографов. Стробоскопические осциллографы. 2. Измерение интервалов времени, частоты и фазовых сдвигов. Измерение интервалов времени, периода, частоты, фазового сдвига методом дискретного счета. Функциональная схема цифрового частотомера. Способы уменьшения погрешности метода. Гетеродинные методы. Расширение частотного диапазона фазометров. Методы анализа сигналов. Преобразование Фурье. Спектральный анализ сигналов. Взаимная спектральная плотность сигналов. Энергетический спектр. Корреляционный анализ сигналов. Связь между энергетическим спектром сигнала и его автокорреляционной функцией. Применение корреляционного анализа для повышения отношения сигнал-шум. Метод синхронного детектирования. Теория синхронного детектирования. Синхронное детектирование в режиме развертки. Детекторы излучений. Возможные формы получения информации от детекторов излучений. Амплитудные анализаторы. Фотоэлектрические приборы для регистрации оптического излучения. Принцип работы фотоприемных приборов. Характеристики и параметры фотоприемников. Вакуумный фотоэлемент, ФЭУ, каналные умножители. Фотодиоды на основе p-n-перехода. Фотодиоды с p-i-n-структурой. Лавинные фотодиоды. Электронно-оптические преобразователи и усилители. Конструкция ЭОП, назначения ЭОП. Методы усиления яркости изображения. Применение МКП и ВОП в ЭОП. Фотокатоды ЭОП. Времяанализирующие ЭОП. Дисекторы.