

## **Аннотация курса.**

Работы по созданию термоядерной энергетики ведутся во множестве лабораторий мира более 50 лет. Исследуются различные подходы к этой проблеме. По некоторым направлениям уже есть научные и технологические достижения, позволяющие построить термоядерный реактор с положительным выходом энергии. Курс “Инженерно-физические проблемы УТС” знакомит слушателей с состоянием исследований на современных термоядерных установках разных классов. Рассматриваются основные направления: классические и “сферические” токамаки, стеллараторы, другие системы с магнитным удержанием, системы инерциального УТС. Вне этого рассмотрения оставлены открытые ловушки для удержания плазмы, поскольку они выделены в отдельный курс.

## **Содержание курса.**

### **1. Введение.**

Плазма в нашей жизни. Предпосылки начала работ по УТС. Параметры, характерные для плазмы УТС. Цели и задачи курса.

### **2. Энергетика и экология.**

Динамика и структура потребления энергии. Основные источники энергии. Ресурсы ископаемого топлива. Рост населения земли. Прогноз развития энергетики. Выбросы вредных веществ. Влияние энергетики на биосферу (глобальное потепление, озоновые дыры ...). Меры по сохранению экологии.

### **3. Альтернативные источники энергии.**

Общая характеристика. Биомасса. Гидроэнергетика. Солнечная энергетика. Солнечная энергия из космоса. Энергия ветра. Энергия недр и океанов. Экологическое воздействие альтернативной энергетики. Предельные ресурсы альтернативной энергетики.

### **4. Современная ядерная энергетика.**

Текущее состояние ядерной энергетики. Радиационное воздействие на человека в цифрах. Шкала радиационных аварий. Физические основы ядерной энергетики. Физика работы реактора. Ядерное топливо, ядерный цикл. Обогащение ядерного топлива. Отходы ядерных электростанций. Природный ядерный реактор. Захоронение радиоактивных отходов. Улучшенные ядерные реакторы.

### **5. Физика термоядерных реакций.**

Термоядерные реакции как источник энергии. Основные положения и определения. Термоядерные реакции. Зависимость скорости реакции от параметров плазмы. Энергетика звезд и Солнца. Топливо для термоядерной энергетики. Альтернативные реакции. Баланс энергии в реакторе. Критерий Лоусона.

### **6. Магнитное удержание плазмы.**

Классификация систем удержания плазмы. Финансирование термоядерных исследований. Магнитное удержание плазмы. Роль магнитного поля. Равновесие витка с током в тороидальном поле. Устройство токамака (основные элементы). Движение частиц в токамаке. Токамаки мира. Прогресс в параметрах плазмы. Планы перехода к токамаку-реактору.

### **7. Классические токамаки.**

Подготовка токамака к работе. Сценарий проведения разряда. Поддержание равновесия плазмы. Управление формой плазмы. Омический нагрев плазмы. Неоклассическая диффузия в токамаках. Предельное давление плазмы. Неустойчивости (грубая картина). Турбулентный перенос в плазме токамака. Пилообразные колебания.

### **8. Лимитеры и диверторы.**

Проблема контакта плазмы со стенкой. Процессы с участием пристеночной плазмы. Эксперименты с лимитерной конфигурацией. Диверторные конфигурации. Процессы в диверторе. Параметры диверторной плазмы. Снижение нагрузки на дивертор излучением. Проблема отвода тепла. Задачи для проекта ИТЭР.

### **9. Системы дополнительного нагрева.**

Зачем нужен дополнительный нагрев. Способы нагрева плазмы. Нагрев при адиабатическом сжатии. ВЧ нагрев плазмы на электронно-циклотронном резонансе. Нагрев ионной компоненты с помощью ВЧ. Нагрев пучками нейтральных атомов. Источники отрицательных ионов.

#### **10. Режимы с улучшенным удержанием в токамаках.**

Понятие скейлинга, скейлинг L-моды. H-мода в токамаках. Условия перехода в H-моду. Режимы с внутренними транспортными барьерами. Неиндуктивное поддержание тока в токамаках. Параметры плазмы в рекордных разрядах.

#### **11. Эксперименты с дейтерий-тритиевой плазмой.**

История DT экспериментов. Результаты токамака TFTR. Режимы работы, параметры. Зависимость от массы иона. Коэффициенты переноса. Нагрев альфа-частицами. Время жизни альфа-частиц. Тороидальные альфвеновские моды. Результаты токамака JET. Лучшие разряды JET и TFTR. Прогресс в термоядерной мощности.

#### **12. Международный проект ИТЭР.**

Проекты установок следующего поколения. История проекта ИТЭР. Структура управления. Физические параметры и задачи ITER-FEAT. Стоимость. Деятельность по отработке технологии. Вакуумная камера. Магнитная система. Первая стенка и бланкет. Дивертор. Криостат. Удаленное обслуживание. Площадка. Физические вопросы проекта ИТЭР. Рабочая программа. Ожидаемые параметры.

#### **13. Сферические токамаки.**

Физика токамаков с малым аспектным отношением. Развитие сферических токамаков. Основные результаты проекта START. Сферические токамаки следующего поколения (NSTX, MAST, Глобус). Сферический токамак как реактор.

#### **14. Стеллараторы.**

Принцип работы стелларатора, история. Физические преимущества стеллараторов. Параметры современных стеллараторов. Магнитные системы стеллараторов. Результаты экспериментов на W-7AS и LHD. Проекты стеллараторов следующего поколения. Сравнение скейлингов для токамаков и стеллараторов. Перспективы стеллараторной программы.

#### **15. Пинчи с обращенным полем (RFP).**

История работ по RFP. Физика пинчей с обращенным полем. Установка RFX. Роль плазменного динамо. Самоорганизация и поддержание обращенной конфигурации. Стохастизация центра. Синхронизация мод. Установка MST. Подавление пилообразных колебаний. Скейлинг для пинчей с обращенным полем. Основные достижения программы. Задачи следующего этапа и реакторные перспективы.

#### **16. Лазерный термоядерный синтез.**

Основные идеи ЛТС. Параметры лазерной плазмы. Существующие установки. Схема с прямым обжатием мишени. Профилирование мощности нагрева. Неустойчивость оболочки, методы борьбы. Непрямое обжатие мишеней. Мишени для ЛТС. Установки следующего поколения. Реакторные перспективы лазерного УТС. Концепция Fast Ignition.

#### **17. Быстрые Z-пинчи.**

Физика быстрых Z-пинчей. Многопроволочные системы. Динамика образования и сжатия плазменной оболочки. Неустойчивости и борьба с ними. Состояние работ и крупнейшие установки. Перспективы этого направления.

#### **18. Нетрадиционные подходы к проблеме УТС.**

Разновидности тороидальных систем. Сферомак. Конфигурация с обращенным полем. Левитирующий диполь (LDX). Синтез на пучках ионов. Плазменный фокус. Синтез с замагниченной мишенью. Стеночное удержание плазмы. УТС с пучками легких ионов. УТС с пучками тяжелых ионов.