

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ
КАФЕДРА ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ФИЗИКИ ЯДЕРНЫХ
РЕАКТОРОВ

ОДОБРЕНО УМС ИЯФИТ

Протокол № 01/08/24-573.1

от 30.08.2024 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ РЕАКТОРНАЯ ФИЗИКА

Направление подготовки
(специальность)

[1] 14.04.02 Ядерные физика и технологии

| Семестр | Трудоемкость, кред. | Общий объем курса, час. | Лекции, час. | Практич. занятия, час. | Лаборат. работы, час. | В форме практической подготовки/ В | СРС, час. | КСР, час. | Форма(ы) контроля, экз./зач./КР/КП |
|---------|------------------------|----------------------------|--------------|---------------------------|--------------------------|--|-----------|-----------|--|
| 3 | 3 | 108 | 0 | 48 | 0 | | 24 | 0 | Э |
| Итого | 3 | 108 | 0 | 48 | 0 | 0 | 24 | 0 | |

АННОТАЦИЯ

Курс содержит сведения о современном состоянии проблем получения экспериментальной информации о нейтронно - физических процессах в ядерных реакторах и об их характеристиках, о применяемых для экспериментов методах и приборах. Обсуждается взаимосвязь между экспериментом и расчетом и ее влияние на условия проведения опытов. Рассматриваются основные задачи экспериментальной реакторной физики и современный подход к их решению. Анализируются возможности усовершенствования технологии экспериментальных исследований и повышения их эффективности и информативности.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель изучения дисциплины заключается в ознакомлении студентов с современным состоянием экспериментальных исследований на ядерных реакторах и перспективами продолжения их развития, особенностями проведения экспериментов на установках разных типов, отличающихся спектром, плотностью потока нейтронов и режимами работы и приобретении навыков выбора оптимальных приборно-методических решений задач, стоящих перед нейтронными реакторными экспериментами.

Задачи изучения дисциплины:

- приобретение знаний об особенностях проведения нейтронно-физических экспериментов на реакторных установках разного типа;
- овладение навыками оптимального выбора методического и приборного решения при проведении реакторных экспериментов с учетом необходимой информативности полученных результатов и минимальных затрат.

2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Содержание программы направлено на формирование знаний в области экспериментальной ядерной физики. Изучение данной дисциплины позволит получить знания о реакторных экспериментах и экспериментальной аппаратуре. Изучение курса требует освоения студентами дисциплин, в которых даются основы ядерных технологий. Помимо этого необходимо знакомство с дисциплинами по теории вероятности.

3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

| Код и наименование компетенции | Код и наименование индикатора достижения компетенции |
|--------------------------------|--|
|--------------------------------|--|

Профессиональные компетенции в соответствии с задачами и объектами (областями знаний) профессиональной деятельности:

| Задача профессиональной | Объект или область знания | Код и наименование профессиональной | Код и наименование индикатора |
|-------------------------|---------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|
|-------------------------|---------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|

| деятельности (ЗПД) | | компетенции; Основание (профессиональный стандарт-ПС, анализ опыта) | достижения профессиональной компетенции |
|--|---|---|---|
| проектный | | | |
| совокупность средств, способов и методов человеческой деятельности, связанных с разработкой, созданием и эксплуатацией установок, вырабатывающих, преобразующих и использующих ядерную энергию | ядерные реакторы и энергетические установки, теплогидравлические и нейтронно-физические процессы в активных зонах ядерных реакторов, тепловые измерения и контроль, теплоносители, материалы ядерных реакторов, ядерный топливный цикл, системы обеспечения безопасности ядерных энергетических установок, системы управления ядерно-физическими установками, программные комплексы и математические модели для теоретического и экспериментального исследования явлений и закономерностей в области теплофизики и энергетики, перспективные методы преобразования энергии. | ПК-9.1 [1] - способен к оценке перспектив развития ядерных энергетических технологий и системному анализу эффективности, безопасности и надежности проектов ЯЭУ <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.028 | З-ПК-9.1[1] - Знать передовой отечественный и зарубежный опыт в области эксплуатации ЯЭУ; У-ПК-9.1[1] - Уметь обобщать и анализировать информацию, планировать виды деятельности и разрабатывать планы работ; В-ПК-9.1[1] - Владеть информацией по перспективам развития атомной энергетики |
| совокупность средств, способов и методов человеческой деятельности, связанных с разработкой, созданием и эксплуатацией установок, вырабатывающих, преобразующих и | ядерные реакторы и энергетические установки, теплогидравлические и нейтронно-физические процессы в активных зонах ядерных реакторов, тепловые измерения и контроль, теплоносители, материалы ядерных | ПК-5 [1] - Способен проводить расчет и проектирование физических установок и приборов с использованием современных информационных технологий <i>Основание:</i> Профессиональный | З-ПК-5[1] - Знать основные физические законы и стандартные прикладные пакеты используемые при моделировании физических процессов и установок ; У-ПК-5[1] - Уметь применять |

| | | | |
|--|--|--|--|
| использующих ядерную энергию | реакторов, ядерный топливный цикл, системы обеспечения безопасности ядерных энергетических установок, системы управления ядерно-физическими установками, программные комплексы и математические модели для теоретического и экспериментального исследования явлений и закономерностей в области теплофизики и энергетики, перспективные методы преобразования энергии. | стандарт: 24.028, 24.078 | стандартные прикладные пакеты используемые при моделировании физических процессов и установок; В-ПК-5[1] - Владеть стандартными прикладными пакетами используемыми при моделировании физических процессов и установок |
| научно-исследовательский | | | |
| совокупность средств, способов и методов человеческой деятельности, связанных с разработкой, созданием и эксплуатацией установок, вырабатывающих, преобразующих и использующих ядерную энергию | ядерные реакторы и энергетические установки, теплогидравлические и нейтронно-физические процессы в активных зонах ядерных реакторов, тепловые измерения и контроль, теплоносители, материалы ядерных реакторов, ядерный топливный цикл, системы обеспечения безопасности ядерных энергетических установок, системы управления ядерно-физическими установками, программные комплексы и математические модели для теоретического и экспериментального исследования явлений и закономерностей в | ПК-9.2 [1] - способен использовать современные достижения и передовые технологии в научно-исследовательских работах для проведения расчетно-теоретических разработок ЯЭУ, учета и контроля объектов с ядерными материалами <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.028 | 3-ПК-9.2[1] - Знать новые методы совершенствования действующих технологических процессов; У-ПК-9.2[1] - Уметь анализировать информационные документы с результатами научных исследований; В-ПК-9.2[1] - Владеть современными пакетами прикладных компьютерных программ |

| | | | |
|--|--|--|---|
| | области теплофизики и энергетики, перспективные методы преобразования энергии. | | |
| проектирование, создание и эксплуатация атомных станций и других ядерных энергетических установок, вырабатывающих, преобразующих и использующих тепловую и ядерную энергию | ядерные реакторы энергетические установки, теплогидравлические и нейтронно-физические процессы в активных зонах ядерных реакторов, тепловые измерения и контроль, теплоносители и материалы ядерных реакторов, ядерный топливный цикл, системы обеспечения безопасности ядерных энергетических установок, системы управления ядерно-физическими установками, программные комплексы и математические модели для теоретического и экспериментального исследования явлений и закономерностей в области теплофизики и энергетики | ПК-32.1 [1] - Способен рассчитывать и измерять физические характеристики ядерных энергетических установок, проводить гидродинамические и тепловые расчеты в сложных системах <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.028 | З-ПК-32.1[1] - знать методы нейтронно-физических и теплогидравлических измерений и расчетов; У-ПК-32.1[1] - уметь выполнять нейтронно-физические и теплогидравлические измерения в реакторной установке; В-ПК-32.1[1] - владеть прикладным программным обеспечением |
| совокупность средств, способов и методов человеческой деятельности, связанных с разработкой, созданием и эксплуатацией установок, вырабатывающих, преобразующих и использующих ядерную энергию | ядерные реакторы и энергетические установки, теплогидравлические и нейтронно-физические процессы в активных зонах ядерных реакторов, тепловые измерения и контроль, теплоносители, материалы ядерных реакторов, ядерный топливный цикл, системы обеспечения безопасности ядерных | ПК-4 [1] - Способен самостоятельно выполнять экспериментальные и теоретические исследования для решения научных и производственных задач <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.028 | З-ПК-4[1] - Знать: цели и задачи проводимых исследований; основные методы и средства проведения экспериментальных и теоретических исследований; методы и средства математической обработки результатов экспериментальных данных ; У-ПК-4[1] - Уметь: |

| | | | |
|--|--|--|---|
| | энергетических установок, системы управления ядерно-физическими установками, программные комплексы и математические модели для теоретического и экспериментального исследования явлений и закономерностей в области теплофизики и энергетики, перспективные методы преобразования энергии. | | применять методы проведения экспериментов; использовать математические методы обработки результатов исследований и их обобщения; оформлять результаты научно-исследовательских работ; В-ПК-4[1] - Владеть: навыками самостоятельного выполнения экспериментальных и теоретических исследования для решения научных и производственных задач |
| производственно-технологический | | | |
| анализ режимов эксплуатации активных зон реакторных установок для контроля соответствия их состояния эксплуатационным пределам и условиям безопасной эксплуатации. Контроль технического состояния оборудования, арматуры, трубопроводов. Обеспечение работы оборудования в соответствии с требованиями регламентов, инструкций по эксплуатации и правил безопасности. Контроль параметров активной зоны | Основы ядерной физики, теплотехники, электротехники, механики и водоподготовки. Общие технические характеристики, нормы оценки технического состояния оборудования АЭС. Виды и конструктивные особенности основного оборудования АЭС, принцип работы основного и вспомогательного оборудования | ПК-32.2 [1] - Способен выбирать обоснованные критерии безопасной работы и оценивать риски при эксплуатации ядерно-энергетических установок <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.028 | З-ПК-32.2[1] - знать правила охраны труда и культуру безопасности; У-ПК-32.2[1] - уметь обеспечивать безопасную эксплуатацию систем и оборудования; В-ПК-32.2[1] - владеть методами и приемами безопасного выполнения работ с соблюдением требований охраны труда и инструкций по безопасности |

| | | | |
|--|---|---|--|
| реактора на соответствие их пределам и условиям безопасной эксплуатации. Эксплуатация систем и оборудования реакторной установки. | | | |
| ИННОВАЦИОННЫЙ | | | |
| совокупность средств, способов и методов человеческой деятельности, связанных с разработкой, созданием и эксплуатацией установок, вырабатывающих, преобразующих и использующих ядерную энергию | ядерные реакторы и энергетические установки, теплогидравлические и нейтронно-физические процессы в активных зонах ядерных реакторов, тепловые измерения и контроль, теплоносители, материалы ядерных реакторов, ядерный топливный цикл, системы обеспечения безопасности ядерных энергетических установок, системы управления ядерно-физическими установками, программные комплексы и математические модели для теоретического и экспериментального исследования явлений и закономерностей в области теплофизики и энергетики, перспективные методы преобразования энергии. | ПК-13 [1] - Способен проектировать, создавать и внедрять новые продукты и системы и применять теоретические знания в реальной инженерной практике <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.028 | З-ПК-13[1] - Знать математические методы и компьютерные технологии, необходимые для проектирования и разработки программного обеспечения для инженерного анализа инновационных продуктов. ; У-ПК-13[1] - Уметь разрабатывать и тестировать программное обеспечение для инженерного анализа инновационных продуктов.; В-ПК-13[1] - владеть навыками разработки и тестирования программного обеспечения для инженерного анализа инновационных продуктов. |

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Разделы учебной дисциплины, их объем, сроки изучения и формы контроля:

| № п.п | Наименование раздела учебной дисциплины | Недели | Лекции/ Практи. (семинары)/ Лабораторные работы, час. | Обязат. текущий контроль (форма*, неделя) | Максимальный балл за раздел** | Аттестация раздела (форма*, неделя) | Индикаторы освоения компетенции |
|----------|---|--------|---|---|----------------------------------|---|---|
| | <i>3 Семестр</i> | | | | | | |
| 1 | Часть 1 | 1-8 | 0/24/0 | | 25 | КИ-8 | 3-ПК-9.1, У-ПК-9.1, В-ПК-9.1, 3-ПК-9.2, У-ПК-9.2, В-ПК-9.2, 3-ПК-32.1, У-ПК-32.1, В-ПК-32.1, 3-ПК-32.2, У-ПК-32.2, В-ПК-32.2, 3-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4, 3-ПК-5, У-ПК-5, В-ПК-5, 3-ПК-13, У-ПК-13, В-ПК-13 |
| 2 | Часть 2 | 9-15 | 0/24/0 | | 25 | КИ-15 | 3-ПК-9.1, У-ПК-9.1, В-ПК-9.1, 3-ПК-9.2, У-ПК-9.2, В-ПК-9.2, 3-ПК-32.1, У-ПК-32.1, В-ПК-32.1, 3-ПК-32.2, У-ПК-32.2, В-ПК-32.2, 3-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4, 3-ПК-5, У-ПК-5, В-ПК-5, 3-ПК-13, У-ПК-13, В-ПК-13 |
| | <i>Итого за 3 Семестр</i> | | 0/48/0 | | 50 | | |

| | | | | | | | |
|--|--------------------------------------|--|--|--|----|---|---|
| | Контрольные мероприятия за 3 Семестр | | | | 50 | Э | 3-ПК-5, У-ПК-5, В-ПК-5, 3-ПК-13, У-ПК-13, В-ПК-13, 3-ПК-9.1, У-ПК-9.1, В-ПК-9.1, 3-ПК-9.2, У-ПК-9.2, В-ПК-9.2, 3-ПК-32.1, У-ПК-32.1, В-ПК-32.1, 3-ПК-32.2, У-ПК-32.2, В-ПК-32.2, 3-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4 |
|--|--------------------------------------|--|--|--|----|---|---|

* – сокращенное наименование формы контроля

** – сумма максимальных баллов должна быть равна 100 за семестр, включая зачет и (или) экзамен

Сокращение наименований форм текущего контроля и аттестации разделов:

| Обозначение | Полное наименование |
|-------------|---------------------|
| КИ | Контроль по итогам |
| Э | Экзамен |

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

| Недели | Темы занятий / Содержание | Лек., час. | Пр./сем., час. | Лаб., час. |
|------------|--|------------------------|----------------|------------|
| | <i>3 Семестр</i> | 0 | 48 | 0 |
| 1-8 | Часть 1 | 0 | 24 | 0 |
| 1 | 1. Введение Задачи курса. Необходимость проведения эксперимента в нейтронной и реакторной физике. Требования к условиям и результатам. Связь эксперимента и расчета. | Всего аудиторных часов | | |
| | | 0 | 6 | 0 |
| | | Онлайн | | |
| | | 0 | 0 | 0 |
| 2 - 4 | 2. Источники нейтронов, детектирование нейтронов Ядерные реакции, используемые для получения нейтронов. Характеристики источников: энергетическое и временное распределение нейтронов, мощность источника, сопутствующие излучения. Радиоактивные источники нейтронов, их характеристики. Применение ускорителей заряженных частиц для получения нейтронов. Применение ускорителей электронов. Возможность получения пучков | Всего аудиторных часов | | |
| | | 0 | 6 | 0 |
| | | Онлайн | | |
| | | 0 | 0 | 0 |

| | | | | |
|-------|---|------------------------|---|---|
| | <p>моноэнергетических нейтронов с помощью ускорителей тяжелых частиц. Протонный ускоритель как мощный источник нейтронов.</p> <p>Возможности нейтронных экспериментов на ядерных реакторах. Задачи выведения и формирования нейтронных пучков.</p> <p>Принцип работы детекторов. Их характеристики: энергетическое и временное разрешение, эффективность. Представление детектора с помощью функции отклика. Газовые ионизационные детекторы. Камеры деления. Пропорциональные счетчики. Коронные счетчики. Применение газовых детекторов. Сцинтилляционные детекторы. Устройство и типы сцинтилляционных детекторов. Применение сцинтилляционных детекторов. Полупроводниковые детекторы, их устройство и конструкция. Калибровка детекторов. Математическая обработка результатов спектрометрических измерений. Активационный анализ. Возмещение нейтронного поля детектором. Эффекты искажения информации в электронном измерительном тракте. Способы получения поправок.</p> | | | |
| 5 - 7 | <p>3. Сечения нейтронных реакций</p> <p>Полное и парциальные сечения, относительные изменения сечений и абсолютные величины.</p> <p>Измерение полного сечения взаимодействия нейтронов методом пропускания. Определение параметров резонансов. Искажение результатов в результате эффекта Доплера и интерференции между потенциальным и резонансным упругим рассеянием.</p> <p>Сечения упругого и неупругого рассеяния, их зависимости от энергии. Схемы опытов по измерению сечений рассеяния.</p> <p>Сечение радиационного захвата. Способы определения, аппаратура, схемы опытов. Результаты измерений сечения захвата.</p> <p>Реакция деления ядер. Энергия деления, продукты деления, мгновенные и запаздывающие нейтроны. Зависимость сечения от энергии и массового числа ядра. Конкуренция деления с другими реакциями. Обзор и анализ сечений упругого и неупругого рассеяния, радиационного захвата, (n,p), (n,α), (n,n')-реакций. Схема опыта по измерению сечений деления, результаты.</p> | Всего аудиторных часов | | |
| | | 0 | 6 | 0 |
| | | Онлайн | | |
| | | 0 | 0 | 0 |
| 8 | <p>4. Измерение спектров нейтронов</p> <p>Параметры стационарного поля нейтронов: плотность потока нейтронов, спектр нейтронов, флюенс нейтронов. Спектры нейтронов в реакторах разных типов. Требуемая информация о спектре, условия проведения опытов. Ограничения. Способы определения интегральных характеристик спектра: метод поглощающего экрана, метод спектральных индексов.</p> <p>Применение наборов активационных детекторов для определения спектра нейтронов. Формирование</p> | Всего аудиторных часов | | |
| | | 0 | 6 | 0 |
| | | Онлайн | | |
| | | 0 | 0 | 0 |

| | | | | |
|---------|---|------------------------|----|---|
| | <p>оптимального набора с учетом чувствительности детекторов. Восстановление спектра по результатам активационных измерений. Погрешности. Способ проверки результатов.</p> <p>Измерение спектра нейтронов "по времени пролета".</p> <p>Схема установки. Разрешающая способность и скорость набора информации. Оптимизация параметров (длительность импульса, длина пролетной базы) измерительной установки. Примеры установок для измерений реакторных спектров.</p> | | | |
| 9-15 | Часть 2 | 0 | 24 | 0 |
| 9 - 10 | 5. Определение размножающих свойств среды Составы и структуры размножающих сред. Параметры размножения, требования к точности их определения. Экспоненциальный опыт, пространственно энергетическое распределение нейтронов в подкритической сборке. Источники и детекторы нейтронов для подкритических опытов, размеры сборок. Особенности опытов с гетерогенными средами. Обзор результатов экспоненциальных опытов с различными средами. Определение критического размера реактора методом приближения к критическому состоянию. Схема опыта: размещение источника, детектора, способы измерения размеров сборки. | Всего аудиторных часов | | |
| | | 0 | 6 | 0 |
| | | Онлайн | | |
| | | 0 | 0 | 0 |
| 11 - 12 | 6. Измерение нейтронно-физических параметров решетки ядерного реактора Измерение параметра МКК: применяемый детектор, его расположение, измеряемые величины, аппаратура, погрешности измерений. Измерение параметров 25% и 28% : детекторы, их расположение, измеряемые величины. Два возможных подхода к решению задачи: с помощью кадмиевого экрана и с помощью детектора тепловых нейтронов. Погрешности измерений и интерпретация результатов. Измерение параметра 28% : детекторы, их расположение, измеряемые величины. Погрешности результатов измерений. Связи физических параметров ячейки со спектром нейтронов и коэффициентами в формуле четырех сомножителей. Погрешность определения физических параметров и ее соответствие требованиям. | Всего аудиторных часов | | |
| | | 0 | 6 | 0 |
| | | Онлайн | | |
| | | 0 | 0 | 0 |
| 13 - 14 | 7. Методы измерения реактивности Понятие о реактивности, единицы измерения реактивности. Температурный и мощностной коэффициенты реактивности. Некритический реактор. Уравнения точечной кинетики, их применимость. Задача управления реактором. Определение реактивности методом измерения асимптотического периода. Границы применимости метода. Изменения значения $\beta_{\text{эф}}$ при работе реактора. Измерения реактивности с помощью реактиметров. Масштабы измеряемых значений | Всего аудиторных часов | | |
| | | 0 | 6 | 0 |
| | | Онлайн | | |
| | | 0 | 0 | 0 |

| | | | | |
|---------|---|------------------------|---|---|
| | реактивности. Погрешности измерений. Определение реактивности методом сброса поглощающего стержня. Интегральный и дифференциальный методы. Применение метода. | | | |
| 15 - 16 | 8. Анализ изотопного состава топлива. Измерение изотопного состава топлива в процессе работы реактора. Интегральные параметры, характеризующие долговременную работу реактора: энерговыработка, выгорание топлива, флюенс нейтронов, и др. Методы, применяемые для анализов состава топлива. Неразрушающие измерения выгорания ядерного топлива в ТВС. Гамма- спектрометрическое определение выгорания: условия опыта, измерительная система, погрешности результатов измерений. Определение выгорания по нейтронному излучению отработавших ТВС. Определение выгорания и содержания трансурановых радионуклидов в топливе с помощью метода изотопных корреляций. Разрушающие методы анализа: радиохимия, масс-спектрометрия. Схемы опытов по определению глубины выгорания топлива. | Всего аудиторных часов | | |
| | | 0 | 6 | 0 |
| | | Онлайн | | |
| | | 0 | 0 | 0 |

Сокращенные наименования онлайн опций:

| Обозначение | Полное наименование |
|-------------|----------------------------------|
| ЭК | Электронный курс |
| ПМ | Полнотекстовый материал |
| ПЛ | Полнотекстовые лекции |
| ВМ | Видео-материалы |
| АМ | Аудио-материалы |
| Прз | Презентации |
| Т | Тесты |
| ЭСМ | Электронные справочные материалы |
| ИС | Интерактивный сайт |

5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Курс реализует компетентностный подход и предусматривает широкое использование в учебном процессе активных форм проведения занятий (практические занятия, система контрольно-измерительных материалов, включая тесты) в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков студентов.

6. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонд оценочных средств по дисциплине обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущего, рубежного и промежуточного контроля по дисциплине.

Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения представлена в следующей таблице:

| Компетенция | Индикаторы освоения | Аттестационное мероприятие (КП 1) |
|-------------|---------------------|-----------------------------------|
| ПК-13 | З-ПК-13 | Э, КИ-8, КИ-15 |
| | У-ПК-13 | Э, КИ-8, КИ-15 |
| | В-ПК-13 | Э, КИ-8, КИ-15 |
| ПК-4 | З-ПК-4 | Э, КИ-8, КИ-15 |
| | У-ПК-4 | Э, КИ-8, КИ-15 |
| | В-ПК-4 | Э, КИ-8, КИ-15 |
| ПК-5 | З-ПК-5 | Э, КИ-8, КИ-15 |
| | У-ПК-5 | Э, КИ-8, КИ-15 |
| | В-ПК-5 | Э, КИ-8, КИ-15 |
| ПК-9.1 | З-ПК-9.1 | Э, КИ-8, КИ-15 |
| | У-ПК-9.1 | Э, КИ-8, КИ-15 |
| | В-ПК-9.1 | Э, КИ-8, КИ-15 |
| ПК-9.2 | З-ПК-9.2 | Э, КИ-8, КИ-15 |
| | У-ПК-9.2 | Э, КИ-8, КИ-15 |
| | В-ПК-9.2 | Э, КИ-8, КИ-15 |
| ПК-32.1 | З-ПК-32.1 | Э, КИ-8, КИ-15 |
| | У-ПК-32.1 | Э, КИ-8, КИ-15 |
| | В-ПК-32.1 | Э, КИ-8, КИ-15 |
| ПК-32.2 | З-ПК-32.2 | Э, КИ-8, КИ-15 |
| | У-ПК-32.2 | Э, КИ-8, КИ-15 |
| | В-ПК-32.2 | Э, КИ-8, КИ-15 |

Шкалы оценки образовательных достижений

Шкала каждого контрольного мероприятия лежит в пределах от 0 до установленного максимального балла включительно. Итоговая аттестация по дисциплине оценивается по 100-балльной шкале и представляет собой сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущего и промежуточного контроля.

Итоговая оценка выставляется в соответствии со следующей шкалой:

| Сумма баллов | Оценка по 4-х балльной шкале | Отметка о зачете | Оценка ECTS |
|--------------|------------------------------|------------------|-------------|
| 90-100 | 5 – «отлично» | «Зачтено» | A |
| 85-89 | 4 – «хорошо» | | B |
| 75-84 | | | C |
| 70-74 | | | D |
| 65-69 | 3 – «удовлетворительно» | | E |
| 60-64 | | | F |
| Ниже 60 | 2 – «неудовлетворительно» | «Не зачтено» | F |

Оценка «отлично» соответствует глубокому и прочному освоению материала программы обучающимся, который последовательно, четко и логически стройно излагает свои ответы, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответах материалы монографической литературы.

Оценка «хорошо» соответствует твердым знаниям материала обучающимся, который грамотно и, по существу, излагает свои ответы, не допуская существенных неточностей.

Оценка «удовлетворительно» соответствует базовому уровню освоения материала обучающимся, при котором освоен основной материал, но не усвоены его детали, в ответах присутствуют неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности.

Отметка «зачтено» соответствует, как минимум, базовому уровню освоения материала программы, при котором обучающийся владеет необходимыми знаниями, умениями и навыками, умеет применять теоретические положения для решения типовых практических задач.

Оценку «неудовлетворительно» / отметку «не зачтено» получает обучающийся, который не знает значительной части материала программы, допускает в ответах существенные ошибки, не выполнил все обязательные задания, предусмотренные программой. Как правило, такие обучающиеся не могут продолжить обучение без дополнительных занятий.

7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 006 П81 Метрология, стандартизация и сертификация в атомной отрасли : монография, Пронкин Н.С., Немчинов В.М., Москва: НИЯУ МИФИ, 2014
2. ЭИ П81 Метрология, стандартизация и сертификация в атомной отрасли : монография, Пронкин Н.С., Немчинов В.М., Москва: НИЯУ МИФИ, 2014
3. 621.039 Б94 Экспериментальная реакторная физика : учебное пособие для вузов, Бушуев А.В., Москва: МИФИ, 2008
4. ЭИ Б94 Экспериментальная реакторная физика : учебное пособие для вузов, Бушуев А.В., Москва: МИФИ, 2008

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

<https://online.mephi.ru/>

<http://library.mephi.ru/>

8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Специальное материально-техническое обеспечение не требуется

9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ

При изучении курса следует ознакомиться с различными типами источников нейтронов и их характеристиками (мощность и спектр нейтронов, режимы генерации), с системами детектирования радиоактивных излучений, методами измерения энергетических и временных спектров.

Особое внимание необходимо уделить изучению нейтронных реакций в разных диапазонах энергии, на ядрах разной массы. Следует сформулировать выводы о том, какие процессы наиболее вероятны для медленных и быстрых нейтронов, как изменяются соотношения между вероятностями процессов в зависимости от типа реактора.

Нужно установить факторы, влияющие на формирование нейтронного поля и ознакомиться с методами, применяемыми для определения спектров нейтронов в экспериментальных и энергетических реакторах.

Нужно знать требования, предъявляемые к нейтронным датчикам, применяемым в системах управления нейтронным полем в реакторах.

Нужно знать принципы построения систем внутриреакторного контроля. Следует знать приемы перекалибровки эффективности датчиков для учета их выгорания.

Требуется усвоить важность определения глубины выгорания ядерного топлива в реакторе и ознакомиться с методами её определения, основанными на гамма-спектрометрии и измерениях нейтронного излучения топливных сборок. Провести анализ погрешностей определения выгорания и способов их минимизации.

Провести сравнительный анализ разрушающих и неразрушающих методов определения нуклидного состава ядерного топлива: точности, трудоёмкости, стоимости. Надо иметь представление о принципах и особенностях разрушающих методов: масс-спектрометрии, альфа-спектрометрии.

10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

Необходимо объяснить студентам историю и направления развития современной физики реакторов, требования к современным реакторным экспериментам, необходимость измерений для эффективной и безопасной эксплуатации ядерных реакторов. В связи с развитием ядерного топливного цикла существует постоянная потребность в уточнении и дополнении ядерных данных. Достижение этих целей требует развития приборно-методической базы для экспериментов на реакторах разных типов.

Нужно показать, что в связи с неуклонным увеличением продолжительности облучения ядерного топлива возникает потребность в новых данных о сечениях реакций, а значит в новых экспериментах. Следует объяснить, что для определения каждого реакторного параметра существует несколько методов и успех исследования определяется выбором оптимального решения. Следует провести сравнение неразрушающих и разрушающих анализов и указать на растущее применение неразрушающих методов.

При анализе различных экспериментов (измерения нейтронных сечений, определение реакторных параметров) следует уделять внимание способам минимизации влияющих факторов. Дать определению понятию “качества” метода и рассмотреть меры по контролю качества. Рассмотреть возможности снижения фона с помощью пассивной и активной защиты

детекторов. Рассказать о роли программ математической обработки экспериментальных данных для обнаружения и измерения эффектов.

Следует особое внимание уделить вопросам измерений реактивности и измерений нуклидного состава топлива в процессе его облучения в реакторе. При описании методов измерений нужно фиксировать внимание на границах их применимости и достижимой точности. Указать на связь между требуемой точностью и технико-экономическими последствиями погрешностей. Объяснить, почему для экспериментов на разных реакторах применяют разные методы и приборы.

Автор(ы):

Стогов Юрий Владимирович, к.т.н., с.н.с.

Бушуев Анатолий Васильевич, д.ф.-м.н., профессор