

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»

Направление подготовки/специальность: 14.03.01 Ядерная энергетика и теплофизика

Наименование образовательной программы: Атомные электростанции и установки

Уровень образования: высшее образование - бакалавриат

Форма обучения: Очная


Рабочая программа дисциплины
ТЕОРИЯ ПЕРЕНОСА НЕЙТРОНОВ

| | |
|--|---|
| Блок: | Блок 1 «Дисциплины (модули)» |
| Часть образовательной программы: | Часть, формируемая участниками образовательных отношений |
| № дисциплины по учебному плану: | Б1.Ч.13 |
| Трудоемкость в зачетных единицах: | 8 семестр - 5; |
| Часов (всего) по учебному плану: | 180 часов |
| Лекции | 8 семестр - 28 часа; |
| Практические занятия | 8 семестр - 14 часов; |
| Лабораторные работы | 8 семестр - 28 часа; |
| Консультации | 8 семестр - 2 часа; |
| Самостоятельная работа | 8 семестр - 107,5 часов; |
| в том числе на КП/КР | не предусмотрено учебным планом |
| Иная контактная работа | проводится в рамках часов аудиторных занятий |
| включая: Контрольная работа Лабораторная работа | |
| Промежуточная аттестация: | |
| Экзамен | 8 семестр - 0,5 часа; |

Москва 2025

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:


Преподаватель

| | | |
|---|--|------------------------------|
|  | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» | |
| | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ | |
| | Владелец | Лунчев Ю.В. |
| | Идентификатор | R7921b264-LunchevYV-64338920 |

Ю.В. Лунчев


СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной программы

| | | |
|---|--|------------------------------|
|  | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» | |
| | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ | |
| | Владелец | Мелихов В.И. |
| | Идентификатор | Rf4bcd4b-MelikhovVI-7cf385d8 |

В.И. Мелихов

Заведующий выпускающей
кафедрой

| | | |
|---|--|--------------------------------|
|  | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» | |
| | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ | |
| | Владелец | Хвостова М.С. |
| | Идентификатор | R5ead212f-KhvostovaMS-a4cf11ca |

М.С. Хвостова

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины: цель освоения дисциплины состоит в изучение теории перемещения нейтронов в различных реакторных средах.

Задачи дисциплины

- изучение диффузии моноэнергетических нейтронов;
- изучение замедления нейтронов в бесконечных средах;
- изучение пространственно-энергетического распределения нейтронов в средах;
- изучение зависимости нейтронно-физических характеристик процесса перемещения нейтронов от состава и физического состояния среды.

Формируемые у обучающегося **компетенции** и запланированные **результаты обучения** по дисциплине, соотнесенные с **индикаторами достижения компетенций**:

| Код и наименование компетенции | Код и наименование индикатора достижения компетенции | Запланированные результаты обучения |
|---|---|---|
| ПК-2 Способен проводить расчеты характеристик процессов, протекающих в конкретных технических устройствах и аппаратах АЭС и других энергетических установок | ИД-1 _{ПК-2} Демонстрирует умение использования стандартных методик расчетов характеристик процессов протекающих в оборудовании АЭС | знать: - теорию диффузии моноэнергетических нейтронов. уметь: - выполнять расчеты характеристик диффузии нейтронов в реакторных средах. |
| ПК-3 Способен к участию в эксплуатации и проектировании основного оборудования атомных электростанций и других энергетических установок с учетом экологических требований и обеспечения безопасной работы | ИД-1 _{ПК-3} Знает принципы работы, компоновку и физические особенности реакторных установок различных типов | знать: - особенности пространственно-энергетического распределения нейтронов в средах; - теорию замедления нейтронов в бесконечных средах. уметь: - анализировать зависимости нейтронно-физических характеристик процесса перемещения нейтронов от состава и физического состояния среды. |

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Атомные электростанции и установки (далее – ОПОП), направления подготовки 14.03.01 Ядерная энергетика и теплофизика, уровень образования: высшее образование - бакалавриат.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать ядерные и нейтронно-физические процессы, происходящие в ядерных реакторах
- уметь анализировать зависимости сечений взаимодействия нейтронов в различных энергетических областях для различных нуклидов
- уметь выполнять расчёты для различных ядерных реакций

Результаты обучения, полученные при освоении дисциплины, необходимы при выполнении выпускной квалификационной работы.

3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

3.1 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц, 180 часов.

| № п/п | Разделы/темы дисциплины/формы промежуточной аттестации | Всего часов на раздел | Семестр | Распределение трудоемкости раздела (в часах) по видам учебной работы | | | | | | | | | | Содержание самостоятельной работы/ методические указания |
|-------|--|-----------------------|---------|--|-----|----|--------------|---|-----|----|----|-------------------|-----------------------------------|---|
| | | | | Контактная работа | | | | | | | СР | | | |
| | | | | Лек | Лаб | Пр | Консультация | | ИКР | | ПА | Работа в семестре | Подготовка к аттестации /контроль | |
| КПР | ГК | ИККП | ТК | | | | | | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| 1 | Диффузия моноэнергетических нейтронов | 49 | 8 | 8 | 8 | 5 | - | - | - | - | - | 28 | - | <p><u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Диффузия моноэнергетических нейтронов"</p> <p><u>Подготовка к лабораторной работе:</u> Для выполнения заданий по лабораторной работе необходимо предварительно изучить тему и задачи выполнения лабораторной работы, а так же изучить вопросы вариантов обработки результатов по изученному в разделе "Диффузия моноэнергетических нейтронов" материалу.</p> <p><u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Диффузия моноэнергетических нейтронов" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях</p> <p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Диффузия моноэнергетических нейтронов"</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], п. 3.5, п. 3.9 [2], гл. 1.3 [5], гл. 2</p> |
| 1.1 | Диффузия моноэнергетических нейтронов | 49 | | 8 | 8 | 5 | - | - | - | - | - | 28 | - | |
| 2 | Замедление нейтронов в бесконечных средах | 68 | | 14 | 14 | 8 | - | - | - | - | - | - | 32 | |
| 2.1 | Замедление нейтронов | 68 | 14 | 14 | 8 | - | - | - | - | - | - | 32 | - | <p><u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Замедление нейтронов в бесконечных средах"</p> |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|--|----|--|---|---|---|---|---|---|---|---|----|---|---|
| | в бесконечных средах | | | | | | | | | | | | | <p>средах"</p> <p><u>Подготовка к лабораторной работе:</u> Для выполнения заданий по лабораторной работе необходимо предварительно изучить тему и задачи выполнения лабораторной работы, а так же изучить вопросы вариантов обработки результатов по изученному в разделе "Замедление нейтронов в бесконечных средах" материалу.</p> <p><u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Замедление нейтронов в бесконечных средах" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях</p> <p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Замедление нейтронов в бесконечных средах"</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], п. 4.3-4.6, п. 4.10, п. 4.11</p> |
| 3 | Пространственно-энергетическое распределение нейтронов | 27 | | 6 | 6 | 1 | - | - | - | - | - | 14 | - | <p><u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Пространственно-энергетическое распределение нейтронов"</p> |
| 3.1 | Пространственно-энергетическое распределение нейтронов | 27 | | 6 | 6 | 1 | - | - | - | - | - | 14 | - | <p><u>Подготовка к лабораторной работе:</u> Для выполнения заданий по лабораторной работе необходимо предварительно изучить тему и задачи выполнения лабораторной работы, а так же изучить вопросы вариантов обработки результатов по изученному в разделе "Пространственно-энергетическое распределение нейтронов" материалу.</p> <p><u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Пространственно-энергетическое распределение нейтронов" подготовка к выполнению заданий на практических</p> |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|--|------------------|-------|----|----|----|---|---|---|---|-----|----|-------|--|--|
| | | | | | | | | | | | | | | занятиях <u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Пространственно-энергетическое распределение нейтронов" <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], п. 5.1 [3], стр. 2-35 [4], стр. 2-27 |
| | Экзамен | 36.0 | - | - | - | - | 2 | - | - | 0.5 | - | 33.5 | | |
| | Всего за семестр | 180.0 | 28 | 28 | 14 | - | 2 | - | - | 0.5 | 74 | 33.5 | | |
| | Итого за семестр | 180.0 | 28 | 28 | 14 | | 2 | - | | 0.5 | | 107.5 | | |

Примечание: Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПП – аудиторные консультации по курсовым проектам/работам; ИККП – индивидуальные консультации по курсовым проектам/работам; ГК- групповые консультации по разделам дисциплины; СР – самостоятельная работа студента; ИКР – иная контактная работа; ТК – текущий контроль; ПА – промежуточная аттестация

3.2 Краткое содержание разделов

1. Диффузия моноэнергетических нейтронов

1.1. Диффузия моноэнергетических нейтронов

Понятие о диффузии нейтронов. Плотность потока нейтронов. Скорость взаимодействия. Характерные длины пробега нейтронов. Плотность тока нейтронов. Уравнение диффузии. Граничные условия на границах двух сред и среды с вакуумом. Условия применимости диффузионного приближения. Интегральное уравнение для потока моноэнергетических нейтронов. Скорость взаимодействия в случае немонэнергетических нейтронов. Длина диффузии. Время диффузии нейтрона в среде..

2. Замедление нейтронов в бесконечных средах

2.1. Замедление нейтронов в бесконечных средах

Рассеяние в лабораторной системе координат. Ступенька замедления. Закон рассеяния. Средняя логарифмическая потеря энергии при одном столкновении. Понятие летаргии. Энергетическое распределение замедляющихся нейтронов в бесконечных однородных средах. Замедление на водороде без поглощения и с поглощением. Вероятность избежать поглощения при замедлении. Замедление на тяжелых рассеивателях без поглощения и с поглощением. Эффективный резонансный интеграл поглощения. Резонансный интеграл поглощения при бесконечном разбавлении..

3. Пространственно-энергетическое распределение нейтронов

3.1. Пространственно-энергетическое распределение нейтронов

Модель непрерывного замедления. Уравнение возраста. Уравнение замедления в возрастном приближении. Возраст нейтронов. Площадь миграции нейтронов. Многогрупповое приближение. Групповые диффузионные уравнения. Термализация нейтронов. Температура нейтронного газа..

3.3. Темы практических занятий

1. Уравнение диффузии;
2. Замедление нейтронов в бесконечных средах;
3. Пространственно-энергетическое распределение нейтронов.

3.4. Темы лабораторных работ

1. Определение коэффициента диффузного отражения тепловых нейтронов;
2. Определение сечения радиационного захвата тепловых нейтронов для водорода;
3. Определение длины диффузии для графита методом сигма-призмы;
4. Исследование процессов накопления и распада радиоактивных ядер;
5. Проверка статистического характера процесса радиоактивного распада;
6. Изучение пространственного распределения резонансных и тепловых нейтронов в воде.

3.5 Консультации

Групповые консультации по разделам дисциплины (ГК)

1. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Диффузия моноэнергетических нейтронов"

2. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Замедление нейтронов в бесконечных средах"
3. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Пространственно-энергетическое распределение нейтронов"

Текущий контроль (ТК)

1. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Диффузия моноэнергетических нейтронов"
2. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Замедление нейтронов в бесконечных средах"
3. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Пространственно-энергетическое распределение нейтронов"

3.6 Тематика курсовых проектов/курсовых работ

Курсовой проект/ работа не предусмотрены

3.7. Соответствие разделов дисциплины и формируемых в них компетенций

| Запланированные результаты обучения по дисциплине (в соответствии с разделом 1) | Коды индикаторов | Номер раздела дисциплины (в соответствии с п.3.1) | | | Оценочное средство (тип и наименование) |
|--|------------------|---|---|---|--|
| | | 1 | 2 | 3 | |
| Знать: | | | | | |
| теорию диффузии моноэнергетических нейтронов | ИД-1ПК-2 | + | | | Контрольная работа/Диффузия моноэнергетических нейтронов |
| теорию замедления нейтронов в бесконечных средах | ИД-1ПК-3 | | + | | Контрольная работа/Замедление нейтронов в бесконечных гомогенных средах |
| особенности пространственно-энергетического распределения нейтронов в средах | ИД-1ПК-3 | | | + | Лабораторная работа/Нейтронно-физические характеристики процесса перемещения нейтронов Лабораторная работа/Особенности пространственно-энергетического распределения нейтронов в средах |
| Уметь: | | | | | |
| выполнять расчеты характеристик диффузии нейтронов в реакторных средах | ИД-1ПК-2 | + | | | Контрольная работа/Диффузия моноэнергетических нейтронов Лабораторная работа/Нейтронно-физические характеристики процесса перемещения нейтронов |
| анализировать зависимости нейтронно-физических характеристик процесса перемещения нейтронов от состава и физического состояния среды | ИД-1ПК-3 | | | + | Лабораторная работа/Особенности пространственно-энергетического распределения нейтронов в средах |

4. КОМПЕТЕНТНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ)

4.1. Текущий контроль успеваемости

8 семестр

Форма реализации: Письменная работа

1. Диффузия моноэнергетических нейтронов (Контрольная работа)
2. Замедление нейтронов в бесконечных гомогенных средах (Контрольная работа)

Форма реализации: Смешанная форма

1. Нейтронно-физические характеристики процесса перемещения нейтронов (Лабораторная работа)
2. Особенности пространственно-энергетического распределения нейтронов в средах (Лабораторная работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине

Экзамен (Семестр №8)

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ»

В диплом выставляется оценка за 8 семестр.

Примечание: Оценочные материалы по дисциплине приведены в фонде оценочных материалов ОПОП.

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1 Печатные и электронные издания:

1. Байбаков, В. Д. Физика ядерных реакторов : учебное пособие для вузов по направлению "Ядерная энергетика и теплофизика" / В. Д. Байбаков, Нац. исслед. ун-т "МЭИ". – М. : Изд-во МЭИ, 2016. – 420 с. – ISBN 978-5-7046-1793-8.
<http://elibr.mpei.ru/elibr/view.php?id=8725>;
2. ВВЭР-1000: физические основы эксплуатации, ядерное топливо, безопасность / А. М. Афров, и др. – М. : Логос, 2006. – 488 с. – ISBN 5-9870413-7-6.;
3. Бартоломей, Г. Г. Сборник задач по курсу "Физика ядерных реакторов" / Г. Г. Бартоломей ; ред. Б. А. Дементьев ; Моск. энерг. ин-т (МЭИ). – 1993. – 36 с. : 2.00.;
4. Лабораторные работы по курсу "Ядерная и нейтронная физика": Исследование нейтронно-физических свойств реакторных материалов / М. С. Алхутов, В. Д. Байбаков, Моск. энерг. ин-т (МЭИ), Каф. атомных электростанций. – М. : МЭИ, 1981. – 28 с.;
5. Окунев В. С., Лисицын И. С.- "Нейтронно-физический расчет решетки ядерного реактора на основе газокинетической теории переноса", Издательство: "МГТУ им. Н.Э. Баумана", Москва, 2011 - (145 с.)
http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=52232.

5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. Office / Российский пакет офисных программ;
2. Windows / Операционная система семейства Linux;

3. SmathStudio.

5.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационно-справочные системы:

1. ЭБС Лань - <https://e.lanbook.com/>
2. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>
3. База данных Web of Science - <http://webofscience.com/>
4. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>
5. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>
6. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>
7. Портал открытых данных Российской Федерации - <https://data.gov.ru>
8. База открытых данных Министерства труда и социальной защиты РФ - <https://rosmintrud.ru/opendata>
9. База открытых данных профессиональных стандартов Министерства труда и социальной защиты РФ - <http://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/natsionalnyy-reestr-professionalnykh-standartov/>
10. База открытых данных Министерства экономического развития РФ - <http://www.economy.gov.ru>
11. База открытых данных Росфинмониторинга - <http://www.fedsfm.ru/opendata>
12. Национальный портал онлайн обучения «Открытое образование» - <https://openedu.ru>
13. Официальный сайт Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии - <http://protect.gost.ru/>
14. Открытая университетская информационная система «РОССИЯ» - <https://uisrussia.msu.ru>

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

| Тип помещения | Номер аудитории, наименование | Оснащение |
|---|--|--|
| Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля | Т-320, Учебная аудитория | стол, стул, мультимедийный проектор, экран, доска маркерная, компьютер персональный |
| Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП | Т-305, Учебная аудитория | стол, стул, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, экран, доска маркерная |
| Учебные аудитории для проведения лабораторных занятий | Т-217, Учебная лаборатория нейтронной физики | стол, стул, шкаф, тумба, компьютер персональный, принтер |
| Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации | Т-305, Учебная аудитория | стол, стул, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, экран, доска маркерная |
| Помещения для самостоятельной работы | НТБ-303, Лекционная аудитория | стол компьютерный, стул, стол письменный, вешалка для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, принтер, кондиционер |
| Помещения для консультирования | Т-305, Учебная аудитория | стол, стул, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, экран, доска маркерная |
| Помещения для хранения | Т-317, Помещение | стол, стул, шкаф, тумба, компьютерная |

| | | |
|-----------------------------------|-----------------------------------|--|
| оборудования и учебного инвентаря | учебно-вспомогательного персонала | сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, принтер |
|-----------------------------------|-----------------------------------|--|

БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ**Теория переноса нейтронов**

(название дисциплины)

8 семестр**Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:**

- КМ-1 Диффузия моноэнергетических нейтронов (Контрольная работа)
 КМ-2 Замедление нейтронов в бесконечных гомогенных средах (Контрольная работа)
 КМ-3 Особенности пространственно-энергетического распределения нейтронов в средах (Лабораторная работа)
 КМ-4 Нейтронно-физические характеристики процесса перемещения нейтронов (Лабораторная работа)

Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

| Номер раздела | Раздел дисциплины | Индекс КМ: | КМ-1 | КМ-2 | КМ-3 | КМ-4 |
|---------------|--|------------|------|------|------|------|
| | | Неделя КМ: | 4 | 8 | 12 | 14 |
| 1 | Диффузия моноэнергетических нейтронов | | | | | |
| 1.1 | Диффузия моноэнергетических нейтронов | | + | | | + |
| 2 | Замедление нейтронов в бесконечных средах | | | | | |
| 2.1 | Замедление нейтронов в бесконечных средах | | | + | | |
| 3 | Пространственно-энергетическое распределение нейтронов | | | | | |
| 3.1 | Пространственно-энергетическое распределение нейтронов | | | | + | + |
| Вес КМ, %: | | | 25 | 25 | 25 | 25 |