

**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**


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

**Москва 2023**

**ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:**

Преподаватель

(должность)

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

(подпись)


Ю.В. Лунчев

(расшифровка подписи)

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель образовательной программы

(должность, ученая степень, ученое звание)

	<b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b>	
	<b>Сведения о владельце ЦЭП МЭИ</b>	
	Владелец	Аникеев А.В.
	Идентификатор	R64fa5fd7-AnikeevAV-ee466b65

(подпись)

А.В. Аникеев

(расшифровка подписи)

Заведующий выпускающей кафедры

(должность, ученая степень, ученое звание)

	<b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b>	
	<b>Сведения о владельце ЦЭП МЭИ</b>	
	Владелец	Аникеев А.В.
	Идентификатор	R64fa5fd7-AnikeevAV-ee466b65

(подпись)

А.В. Аникеев

(расшифровка подписи)

## 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-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 <sub>ПК-3</sub> 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.
ПК-4 Способен проводить расчеты характеристик процессов, протекающих в конкретных технических устройствах и аппаратах АЭС и других энергетических установок	ИД-1 <sub>ПК-4</sub> 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.

## 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><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Диффузия моноэнергетических нейтронов"</p> <p><b><u>Подготовка к лабораторной работе:</u></b> 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><b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу "Диффузия моноэнергетических нейтронов" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях</p> <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Диффузия моноэнергетических нейтронов"</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [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><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Замедление нейтронов в бесконечных"</p>	

	в бесконечных средах													<p>средах"</p> <p><b><u>Подготовка к лабораторной работе:</u></b> 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><b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу "Замедление нейтронов в бесконечных средах" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях</p> <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Замедление нейтронов в бесконечных средах"</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], п. 4.3-4.6, п. 4.10, п. 4.11</p>
3	Пространственно-энергетическое распределение нейтронов	27		6	6	1	-	-	-	-	-	14	-	<p><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Пространственно-энергетическое распределение нейтронов"</p>
3.1	Пространственно-энергетическое распределение нейтронов	27		6	6	1	-	-	-	-	-	14	-	<p><b><u>Подготовка к лабораторной работе:</u></b> 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><b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу "Пространственно-энергетическое распределение нейтронов" подготовка к выполнению заданий на практических</p>

														занятиях <b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Пространственно-энергетическое распределение нейтронов" <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [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. Пространственно-энергетическое распределение нейтронов;
2. Замедление нейтронов в бесконечных средах;
3. Уравнение диффузии.

### **3.4. Темы лабораторных работ**

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

### **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	
<b>Знать:</b>					
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
теорию диффузии моноэнергетических нейтронов	ИД-1ПК-4	+			Контрольная работа/Диффузия моноэнергетических нейтронов
<b>Уметь:</b>					
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
выполнять расчеты характеристик диффузии нейтронов в реакторных средах	ИД-1ПК-4	+			Контрольная работа/Диффузия моноэнергетических нейтронов Лабораторная работа/Нейтронно-физические характеристики процесса перемещения нейтронов

## **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://elib.mpei.ru/action.php?kt\\_path\\_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=8725](http://elib.mpei.ru/action.php?kt_path_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=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](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, Компьютерный читальный зал	стол компьютерный, стул, стол письменный, вешалка для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, принтер, кондиционер
Помещения для	Т-305, Учебная	стол, стул, компьютерная сеть с

консультирования	аудитория	выходом в Интернет, мультимедийный проектор, экран, доска маркерная
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	Т-317, Помещение учебно-вспомогательного персонала	стол, стул, шкаф, тумба, компьютерная 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