

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  
ФИЗИКА ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ

Направление подготовки  
(специальность)

[1] 14.03.02 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
7	4	144	32	0	32		26	0	Э
Итого	4	144	32	0	32	16	26	0	

## АННОТАЦИЯ

Изучаются основные закономерности размножения и диффузии нейтронов в гомогенных и гетерогенных размножающих средах. Излагаются основы теории однородных решеток.

### 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью является ознакомление студентов с физикой, основами теории и методами анализа нейтронно-ядерных процессов, протекающих в ядерных реакторах.

Знания, полученные студентами при изучении дисциплины, необходимы для выполнения курсового проекта по ядерно-энергетическим установкам, дипломного проектирования, а также для последующей профессиональной деятельности в области проектирования и анализа ядерных реакторов различного целевого назначения.

Основной задачей изучения дисциплины является привитие студентам навыков самостоятельного анализа физических процессов и количественных оценок параметров критичности и безопасности реактора.

### 2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

1. Ядерная физика.
2. Теория переноса нейтронов.
3. Линейная алгебра.
4. Уравнения математической физики.

### 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 деятельности (ЗПД)	Объект или область знания	Код и наименование профессиональной компетенции; Основание (профессиональный стандарт-ПС, анализ опыта)	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции
научно-исследовательский			
Исследования перспективных типов ядерных энергетических установок, теплофизические	Ядерные реакторы, энергетические установки, теплогидравлические и нейтронно-физические процессы	ПК-7.2 [1] - Способен к проведению физических экспериментов на основе апробированной	3-ПК-7.2[1] - знать методы проведения исследований теплофизических и нейтронно-физических

<p>исследования перспективных твэлов, топлива, конструкционных материалов и теплоносителей. Разработка моделей и программных комплексов для расчета теплогидравлических и нейтронно-физических процессов в активных зонах перспективных ядерных реакторов. Создание и применение установок и систем для проведения теплофизических, ядерно-физических исследований, неравновесных физических процессов</p>	<p>в активных зонах ядерных реакторов, тепловые измерения и контроль, теплоносители, материалы ядерных реакторов, ядерный топливный цикл, системы обеспечения безопасности, системы управления ядерно-физическими установками, программные комплексы для исследования явлений и закономерностей в области теплофизики и энергетики, ядерных реакторов</p>	<p>методики с целью определения теплофизических и нейтронно-физических параметров ЯЭУ различного назначения</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.078</p>	<p>процессов; У-ПК-7.2[1] - уметь проводить экспериментальные исследования по заданной методике; В-ПК-7.2[1] - владеть методами анализа погрешности физических экспериментов</p>
<p>Исследования перспективных типов ядерных энергетических установок, теплофизические исследования перспективных твэлов, топлива, конструкционных материалов и теплоносителей. Разработка моделей и программных комплексов для расчета теплогидравлических и нейтронно-физических процессов в активных зонах перспективных ядерных реакторов. Создание и применение установок и систем для проведения теплофизических,</p>	<p>Ядерные реакторы, 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, системы управления ядерно-физическими установками, программные комплексы для исследования явлений и закономерностей в области теплофизики и энергетики, ядерных реакторов</p>	<p>ПК-2 [1] - Способен проводить математическое моделирование процессов и объектов на базе стандартных пакетов автоматизированного проектирования и исследований</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.078</p>	<p>3-ПК-2[1] - знать методы математического моделирования процессов и объектов на базе стандартных пакетов автоматизированного проектирования и исследований; ; У-ПК-2[1] - уметь использовать методы математического моделирования процессов и объектов на базе стандартных пакетов автоматизированного проектирования и исследований;; В-ПК-2[1] - владеть навыками математического моделирования процессов и объектов на базе стандартных пакетов</p>

ядерно-физических исследований, неравновесных физических процессов			автоматизированного проектирования и исследований;
Исследования перспективных типов ядерных энергетических установок, теплофизические исследования перспективных ТВЭЛов, топлива, конструкционных материалов и теплоносителей. Разработка моделей и программных комплексов для расчета теплогидравлических и нейтронно-физических процессов в активных зонах перспективных ядерных реакторов. Создание и применение установок и систем для проведения теплофизических, ядерно-физических исследований, неравновесных физических процессов	Ядерные реакторы, 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, системы управления ядерно-физическими установками, программные комплексы для исследования явлений и закономерностей в области теплофизики и энергетики, ядерных реакторов	ПК-3 [1] - Способен проводить физические эксперименты по заданной методике, составлять описания проводимых исследований, отчеты по анализу результатов и подготовке научных публикаций  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.078	З-ПК-3[1] - знать основные физические законы и методы обработки данных ; У-ПК-3[1] - уметь работать по заданной методике, составлять описания проводимых исследований и отчеты, подготавливать материалы для научных публикаций; В-ПК-3[1] - владеть навыками проведения физических экспериментов по заданной методике, основами компьютерных и информационных технологий, научной терминологией
организационно-управленческий			
Создание и применение установок и систем для проведения теплофизических, ядерно-физических исследований, неравновесных физических процессов	Ядерные реакторы, 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,	ПК-9 [1] - Способен к выполнению работ по стандартизации и подготовке к сертификации технических средств, систем, оборудования и материалов  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.032	З-ПК-9[1] - Знать номенклатуру работ по стандартизации и подготовке к сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов; У-ПК-9[1] - Уметь выполнять работы по подготовке к сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и

	системы управления ядерно-физическими установками, программные комплексы для исследования явлений и закономерностей в области теплофизики и энергетики, ядерных реакторов		материалов; В-ПК-9[1] - Владеть основными навыками сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов
--	---	--	---

#### 4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

Направления/цели воспитания	Задачи воспитания (код)	Воспитательный потенциал дисциплин
-----------------------------	-------------------------	------------------------------------

#### 5. 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>7 Семестр</i>						
1	Часть 1	1-8	16/0/16		25	КИ-8	3-ПК-7.2, У-ПК-7.2, В-ПК-7.2, 3-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2, 3-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3, 3-ПК-9, У-ПК-9, В-ПК-9
2	Часть 2	9-16	16/0/16		25	КИ-16	3-ПК-7.2, У-ПК-7.2, В-ПК-7.2, 3-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2, 3-ПК-3, У-ПК-3,

							В-ПК-3, 3-ПК-9, У-ПК-9, В-ПК-9
	<i>Итого за 7 Семестр</i>		32/0/32		50		
	<b>Контрольные мероприятия за 7 Семестр</b>				50	Э	3-ПК-7.2, У-ПК-7.2, В-ПК-7.2, 3-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2, 3-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3, 3-ПК-9, У-ПК-9, В-ПК-9

\* – 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>7 Семестр</i>	32	0	32
<b>1-8</b>	<b>Часть 1</b>	16	0	16
1 - 2	Основные положения нейтронной физики и теории переноса нейтронов, важные для анализа физических процессов в ядерных реакторах: виды нейтронно-ядерных взаимодействий, микросечения процессов для реакторных материалов, деление ядер, баланс реакции деления, диффузия нейтронов.	Всего аудиторных часов		
		4	0	4
		Онлайн		
		0	0	0
3 - 4	Размножение нейтронов. Коэффициент размножения. Уравнение гомогенного реактора. Граничные условия. Баланс нейтронов в реакторе. Понятие материального и геометрического параметров. Условие критичности.	Всего аудиторных часов		
		4	0	4
		Онлайн		
		0	0	0
5 - 6	Замедление нейтронов. Возрастное приближение. Условие критичности с учётом замедления. Эффективное одногрупповое приближение. Резонансный захват в реакторе. Понятие "эффективного резонансного интеграла". Вероятность избежать резонансного захвата.	Всего аудиторных часов		
		4	0	4
		Онлайн		
		0	0	0
7 - 8	Гетерогенный реактор: пространственно-энергетическое распределение нейтронов в ячейке реактора, баланс	Всего аудиторных часов		
		4	0	4

	нейтронов с учётом резонансного захвата и размножения на быстрых нейтронах. Отражатель. Многозонный реактор. Профилирование энерговыделения. Общий подход к анализу реактора с произвольным спектром нейтронов. Многогрупповое приближение.	Онлайн		
		0	0	0
<b>9-16</b>	<b>Часть 2</b>	16	0	16
9 - 10	Физические процессы в ядерных реакторах. Изменение изотопного состава топлива в процессе выгорания. Расход топлива. Воспроизводство ядерного горючего. Отравление и зашлаковывание топлива. Схемы ядерно-энергетических установок современных атомных станций.	Всего аудиторных часов		
		4	0	4
		Онлайн		
11 - 12	Нестационарные процессы в ядерных реакторах. Кинетика на запаздывающих нейтронах. Период. Реактивность. Обратные связи в реакторах. Принципы управления реактором. Ядерная безопасность.	Всего аудиторных часов		
		4	0	4
		Онлайн		
13 - 14	Ядерный реактор как источник радиоактивных излучений. Основные типы излучений, генерируемых в процессе работы реактора. Генерация биологически значимых радионуклидов. Принципы ограничения радиоактивного воздействия на биосферу. "Защита в глубину".	Всего аудиторных часов		
		4	0	4
		Онлайн		
15 - 16	Основы топливного цикла ядерной энергетики. Компоненты топливного цикла. Открытый и замкнутый топливный цикл. Торий в ядерной энергетике. Проблема радиоактивных отходов.	Всего аудиторных часов		
		4	0	4
		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

## 6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Лекции, презентации, разбор конкретных ситуаций, тестирование, выполнение и защита домашнего задания.

## 7. 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-2	З-ПК-2	Э, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-2	Э, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-2	Э, КИ-8, КИ-16
ПК-3	З-ПК-3	Э, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-3	Э, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-3	Э, КИ-8, КИ-16
ПК-7.2	З-ПК-7.2	Э, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-7.2	Э, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-7.2	Э, КИ-8, КИ-16
ПК-9	З-ПК-9	Э, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-9	Э, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-9	Э, КИ-8, КИ-16

### 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	Оценка ECTS	Требования к уровню освоению учебной дисциплины
90-100	5 – «отлично»	A	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответе материал монографической литературы.
85-89	4 – «хорошо»	B	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.
75-84		C	
70-74		D	
65-69	3 – «удовлетворительно»	E	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, нарушения логической последовательности в изложении программного материала.
60-64			
Ниже 60	2 – «неудовлетворительно»	F	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного



			материала, допускает существенные ошибки. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.
--	--	--	--

## **8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:**

1. 621.039 С12 Физическая теория ядерных реакторов Ч.1 Однородная размножающая среда и теория гетерогенных структур, Савандер В.И., : МИФИ, 2024
2. 621.039 С12 Физическая теория ядерных реакторов Ч.2 Теория возмущений и медленные нестационарные процессы, Савандер В.И., Москва: НИЯУ МИФИ, 2013

### **ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:**

1. 621.039 О-75 Основы теории и методы расчета ядерных энергетических реакторов : Учеб. пособие для вуза, Бать Г.А., М.: Энергоиздат, 1982
2. 621.039 К36 Ядерная энергетика : , Кесслер Г., Москва: Энергоатомиздат, 1986

### **ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:**

Специальное программное обеспечение не требуется

### **LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:**

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

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

## **9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Специальное материально-техническое обеспечение не требуется

## **10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ**

Для успешного освоения материала студент должен владеть читаемыми в университете курсом по «Ядерной физике» – особое внимание следует уделить разделам, содержащим описание взаимодействия излучения с веществом, радиоактивность.

## **11. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ**

При изложении раздела асимптотической ценности нейтронов обратить особое внимание на тот факт, что понятие ценности относится не просто к нейтронам, а к нейтронам в данной размножающей среде. На основе того, что уравнение ценности является сопряженным по отношению к уравнению для потока нейтронов, выводятся уравнения ценности в любых приближениях к газокинетическому уравнению и в частности, многогрупповое диффузионное приближение. Важным моментом является отражение того факта, что ценность нейтронов не абсолютная величина, а главную роль играет соотношение ценностей в различных областях активной зоны и для различных групп энергий нейтронов. Основное применение понятия ценности нейтронов находит в теории возмущений главным образом в теории малых возмущений.

В разделе курса отравление реактора осколками деления с аномально большим сечением поглощения нейтронов необходимо подчеркнуть, что ксеноновое отравление является временным явлением, и исчезает после длительной остановки реактора, а отравление самарием действует в течение всего времени работы реактора и не исчезает при остановках любой длительности. При отравлении ксеноном необходимо четко выделить временную компоненту и пространственную составляющую (ксеноновые колебания).

В разделе изменения нуклидного состава топлива необходимо выделить тот факт, что изменение состава топлива определяется не временем и не уровнем потока нейтронов а интегральной величиной – флюенсом нейтронов. В результате изменения нуклидного состава происходит изменение коэффициента размножения нейтронов, что требует управления критичностью в процессе выгорания топлива. Необходимо отметить, что накопление плутония происходит только в начале кампании, а в дальнейшем при приближении к равновесной концентрации весь накапливаемый плутоний используется для производства энергоснабжения.

Для учета поглощения нейтронов на осколках деления необходимо подчеркнуть, что большая часть осколков деления имеют малый период полураспада, но в результате распада образуются долгоживущие осколки, которые только накапливаются и не исчезают.

Для повышения выгорания применяют перегрузки топлива, которые позволяют компенсировать запас реактивности на выгорание за счет поглощения нейтронов выгоревшим топливом с делением оставшегося топлива и образованием вторичного топлива. Необходимо подчеркнуть различие между коэффициентом воспроизводства и коэффициентом накопления.

В разделе, касающемся органов регулирования и оценки их эффективности необходимо подчеркнуть, что сильный поглотитель оказывает влияние на реактивность не только за счет поглощения нейтронов, но и за счет деформации поля нейтронов, приводящее к увеличению утечки нейтронов.

Автор(ы):

Савандер Владимир Игоревич, к.ф.-м.н., с.н.с.