

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

ОДОБРЕНО УМС ИЯФИТ

Протокол № 01/0821-573.1

от 31.08.2021 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
ТЕОРИЯ ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ

Направление подготовки
(специальность)

[1] 14.03.01 Ядерная энергетика и теплофизика
[2] 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
6	4-5	144-180	30	30	15	24-51	0	Э
Итого	4-5	144-180	30	30	15	0 24-51	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

Курс основывается на дисциплинах:

Ядерная физика.

Теория переноса нейтронов.

Линейная алгебра.

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
ОПК-1 [1] – Способен использовать базовые знания естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования	З-ОПК-1 [1] – Знать базовые законы естественнонаучных дисциплин; основные математические законы; основные физические явления, процессы, законы и границы их применимости; сущность основных химических законов и явлений; методы математического моделирования, теоретического и экспериментального исследования У-ОПК-1 [1] – Уметь выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат В-ОПК-1 [1] – Владеть математическим аппаратом для разработки моделей процессов и явлений, решения практических задач профессиональной деятельности; навыками использования основных общезначимых

	законов и принципов
--	---------------------

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			
Получение знаний в области радиационной экологии, воздействия радиации на живую и неживую материю.	Ядерные объекты, источники излучения	ПК-1 [2] - Способен использовать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования, современные компьютерные технологии и информационные ресурсы в своей предметной области <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.078, 40.011	З-ПК-1[2] - знать отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования, современные компьютерные технологии и информационные ресурсы в своей предметной области, ; У-ПК-1[2] - уметь использовать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования, современные компьютерные технологии и информационные ресурсы в своей предметной области; В-ПК-1[2] - владеть современными компьютерными технологиями и методами использования информационных ресурсов в своей предметной области
Разработка методов расчета и детекторов для измерения полей ионизирующих излучений	Компьютерные программы, математические модели, электронные	ПК-3 [2] - Способен проводить физические эксперименты по заданной методике, составлять описания	З-ПК-3[2] - знать основные физические законы и методы обработки данных ; У-ПК-3[2] - уметь

	схемы, детекторы	проводимых исследований, отчетов, анализу результатов и подготовке научных публикаций <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.028, 24.078	работать по заданной методике, составлять описания проводимых исследований и отчеты, подготавливать материалы для научных публикаций; В-ПК-3[2] - владеть навыками проведения физических экспериментов по заданной методике, основами компьютерных и информационных технологий, научной терминологией
производственно-технологический			
Работа в ядерно-физической лаборатории в качестве сотрудника, инженера-технолога.	Ядерно-физическая лаборатория	ПК-6 [2] - Способен к контролю соблюдения технологической дисциплины и обслуживания оборудования <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.028, 24.032	3-ПК-6[2] - знать технические характеристики и принципы безопасного обслуживания технологического оборудования ; У-ПК-6[2] - уметь контролировать соблюдение технологической дисциплины и обслуживание оборудования; В-ПК-6[2] - владеть методами контроля, проверок и испытаний систем и навыками выявления неисправностей в работе оборудования

4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

Направления/цели воспитания	Задачи воспитания (код)	Воспитательный потенциал дисциплин
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование чувства личной ответственности за научно-технологическое развитие России, за результаты исследований и их последствия	1.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования чувства личной ответственности за достижение лидерства России в ведущих научно-технических секторах и

	(B17)	фундаментальных исследованиях, обеспечивающих ее экономическое развитие и внешнюю безопасность, посредством контекстного обучения, обсуждения социальной и практической значимости результатов научных исследований и технологических разработок. 2.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования социальной ответственности ученого за результаты исследований и их последствия, развития исследовательских качеств посредством выполнения учебно-исследовательских заданий, ориентированных на изучение и проверку научных фактов, критический анализ публикаций в профессиональной области, вовлечения в реальные междисциплинарные научно-исследовательские проекты.
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование ответственности за профессиональный выбор, профессиональное развитие и профессиональные решения (B18)	Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования у студентов ответственности за свое профессиональное развитие посредством выбора студентами индивидуальных образовательных траекторий, организации системы общения между всеми участниками образовательного процесса, в том числе с использованием новых информационных технологий.
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование научного мировоззрения, культуры поиска нестандартных научно-технических/практических решений, критического отношения к исследованиям лженаучного толка (B19)	1.Использование воспитательного потенциала дисциплин/практик «Научно-исследовательская работа», «Проектная практика», «Научный семинар» для: - формирования понимания основных принципов и способов научного познания мира, развития исследовательских качеств студентов посредством их вовлечения в исследовательские проекты по областям научных

		исследований. 2.Использование воспитательного потенциала дисциплин "История науки и инженерии", "Критическое мышление и основы научной коммуникации", "Введение в специальность", "Научно-исследовательская работа", "Научный семинар" для: - формирования способности отделять настоящие научные исследования от лженаучных посредством проведения со студентами занятий и регулярных бесед; - формирования критического мышления, умения рассматривать различные исследования с экспертной позиции посредством обсуждения со студентами современных исследований, исторических предпосылок появления тех или иных открытий и теорий.
--	--	--

5. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

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

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практ. (семинары)/ Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
	<i>6 Семестр</i>						
1	Часть 1	1-8	16/16/8		25	КИ-8	В-ПК-3, 3-ПК-6, У-ПК-6, В-ПК-6, 3-ПК-1, У-

							ПК-1, В- ПК-1, 3-ПК- 3, У- ПК-3
2	Часть 2	9-15	14/14/7		25	КИ-15	3-ПК- 1, У- ПК-1, В- ПК-1, 3-ПК- 3, У- ПК-3, В- ПК-3, 3-ПК- 6, У- ПК-6, В- ПК-6
	<i>Итого за 6 Семестр</i>		30/30/15		50		
	Контрольные мероприятия за 6 Семестр				50	Э	

* – 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>6 Семестр</i>	30	30	15
1-8	Часть 1	16	16	8
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	Всего аудиторных часов		
		4	4	2
		Онлайн		

	материалов, деление ядер, баланс реакции деления, диффузия нейтронов.			
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	4	2
		Онлайн		
5 - 6	Замедление нейтронов. Возрастное приближение. Условие критичности с учётом замедления. Эффективное одnogрупповое приближение. Резонансный захват в реакторе. Понятие "эффективного резонансного интеграла". Вероятность избежать резонансного захвата.	Всего аудиторных часов		
		4	4	2
		Онлайн		
7 - 8	Гетерогенный реактор: пространственно-энергетическое распределение нейтронов в ячейке реактора, баланс 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.	Всего аудиторных часов		
		4	4	2
		Онлайн		
9-15	Часть 2	14	14	7
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	4	2
		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	4	2
		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	4	2
		Онлайн		
15	Основы топливного цикла ядерной энергетики. Компоненты топливного цикла. Открытый и замкнутый топливный цикл. Торий в ядерной энергетике. Проблема радиоактивных отходов.	Всего аудиторных часов		
		2	2	1
		Онлайн		

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, 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-1	З-ПК-1	КИ-8, КИ-15
	У-ПК-1	КИ-8, КИ-15
	В-ПК-1	КИ-8, КИ-15
ПК-3	З-ПК-3	КИ-8, КИ-15
	У-ПК-3	КИ-8, КИ-15
	В-ПК-3	КИ-8, КИ-15
ПК-6	З-ПК-6	КИ-8, КИ-15
	У-ПК-6	КИ-8, КИ-15
	В-ПК-6	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-ех 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		B	Оценка «хорошо» выставляется

75-84		C	студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.
70-74		D	
65-69		E	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала.
60-64	3 – «удовлетворительно»		
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.

Оценочные средства приведены в Приложении.

8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ L24 Solving PDEs in Python : The FEniCS Tutorial I, Cham: Springer International Publishing, 2016
2. 621.039 С12 Физическая теория ядерных реакторов Ч.2 Теория возмущений и медленные нестационарные процессы, Москва: НИЯУ МИФИ, 2013
3. ЭИ С12 Физическая теория ядерных реакторов Ч.1 Однородная размножающая среда и теория гетерогенных структур, , : МИФИ, 2007

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 621.039 С12 Физическая теория ядерных реакторов Ч.1 Однородная размножающая среда и теория гетерогенных структур, , : МИФИ, 2007
2. 621.039 К36 Ядерная энергетика : , Кесслер Г.;Пер.с англ., Москва: Энергоатомиздат, 1986
3. 621.039 О-75 Основы теории и методы расчета ядерных энергетических реакторов : Учеб. пособие для вуза, Под. ред. Батя Г.А., М.: Энергоиздат, 1982

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

При прослушивании лекций по курсу особое внимание следует уделять физическим основам описываемых процессов и проверять корректность математических формулировок. При описании процессов при помощи различных упрощенных моделей следует особенно акцентировать внимание на границы применимости используемых моделей в рамках рассматриваемых задач.

При выполнении практических заданий следует четко выделять основные физические особенности рассматриваемых процессов, уметь рисовать графики основных зависимостей для рассматриваемых физических параметров. При написании формул необходимо проверять четкое соответствие размерностей и типов величин.

Домашнее задание:

1. Рассчитать коэффициент размножения и критические параметры гомогенного реактора в одноклассовом приближении для смеси заданных материалов,
2. Рассчитать коэффициент размножения, длину диффузии и возраст нейтронов в гетерогенной решетке заданных размеров и материалов,
3. Оценить критический размер реактора с отражателем аналитическим методом и рассчитать распределение потоков нейтронов в двухклассовом приближении.

11. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

Необходимо напомнить студентам основы физики деления ядер: дефект массы, энергия связи нуклонов в ядре, делимые и делящиеся нуклиды а также основные реакции нейтронов с ядрами. Опираясь на тот факт, что в процессе деления возникают нейтроны, дать понятие цепного процесса и его основной характеристики – коэффициента размножения, как отношения числа нейтронов в двух последовательных поколениях. Для бесконечной размножающей среды ввести другое определение, на основе отношения скоростей процессов рождения и поглощения нейтронов и показать эквивалентность этих определений. Получить уравнение для спектра нейтронов в бесконечной размножающей среде и связать коэффициент размножения с спектральной характеристикой этого уравнения.

В зависимости от спектра нейтронов в размножающей среде провести классификацию на быстрые, промежуточные и тепловые реакторы. Для теплового реактора получить коэффициент размножения в виде формулы 4-х сомножителей. При расчете вероятности избежать резонансного поглощения нейтронов показать нелинейный характер явления, подчеркнуть

разницу между резонансным и эффективным резонансным интегралом. Пояснить студентам важную роль Доплер-эффекта в резонансном поглощении, как основа внутренне присущей безопасности реактора. Рассмотреть зависимость сомножителей от разбавления размножающей среды.

Для гомогенных размножающих сред конечных размеров объяснить важность понятия материального параметра среды, как ее основной физической характеристики, и геометрического параметра, как свойства геометрии того объема, в котором размещена размножающая среда. Выделить условие критичности. Ввести понятие условно критического реактора и на его основе эффективного коэффициента размножения среды с утечкой нейтронов. Рассмотреть роль отражателя и его влияние на критический размер и распределение потока нейтронов и энергосвечения.

Для гетерогенных сред необходимо уделить внимание периодическим структурам, ввести понятия элементарной и эквивалентной ячейки реактора. Особо обратить внимание на метод эффективной гомогенизации гетерогенных структур. Обосновать роль метода вероятности первых столкновений для анализа физических эффектов, происходящих в элементарных ячейках. При изложении метода вероятности первых столкновений последовательно изложить понятия локальных вероятностей, метода плоских источников и плоских потоков для выражений этих вероятностей в гомогенных зонах.

Особо обратить внимание на резонансное поглощение нейтронов в гетерогенной среде и неравномерность распределения потока тепловых нейтронов по ячейке, выделив случаи тесных и широких ячеек. При рассмотрении коэффициента использования тепловых нейтронов ввести метод АБГ и получить связь вероятностей, используемых в этом методе и ранее введенных вероятностей первых столкновений.

Необходимо подчеркнуть сложность усреднения коэффициента диффузии в замкнутой ячейке и необходимость использования для усреднения втекающие и вытекающие токи нейтронов.

Автор(ы):

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