

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] 14.05.01 Ядерные реакторы и материалы

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	5	180	45	45	15		30	0	Э
Итого	5	180	45	45	15	15	30	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 «Теоретические и экспериментальные основы нейтронно-ядерных процессов: физическая теория реакторов» 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:

1.3.1. Ядерная физика.

1.3.2. Теория переноса нейтронов.

1.3.4. Линейная алгебра.

1.3.5. 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			
Проведение расчетных	Атомный	ПК-1 [1] - способен	З-ПК-1[1] - Знать

исследований и измерений физических характеристик на экспериментальных стендах и установках	ледокольный флот Атомные электрические станции Плавучая АЭС Сфера научных исследований в области ядерной физики и технологий	создавать теоретические и математические модели, описывающие нейтронно-физические процессы в реакторах, процессы гидродинамики и теплопереноса в активных зонах или воздействие ионизирующего излучения на материалы, человека и объекты окружающей среды, системы учета, контроля ядерных материалов <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.078	нейтронно-физические процессы в реакторах, процессы гидродинамики и теплопереноса в активных зонах или воздействие ионизирующего излучения на материалы, человека и объекты окружающей среды, системы учета, контроля ядерных материалов ; У-ПК-1[1] - Уметь создавать теоретические и математические модели в профессиональной области ; В-ПК-1[1] - Владеть навыками работы с современными расчетными программными средствами
Проведение расчетных исследований и измерений физических характеристик на экспериментальных стендах и установках	Атомный ледокольный флот Атомные электрические станции Плавучая АЭС Сфера научных исследований в области ядерной физики и технологий	ПК-2 [1] - способен к созданию новых методов расчета современных реакторных установок и физических устройств, методов исследования теплофизических процессов и свойств реакторных материалов и теплоносителей; разработке новых систем преобразования тепловой и ядерной энергии в электрическую, методов и методик оценки количественных характеристик ядерных материалов <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.078	З-ПК-2[1] - Знать методы исследования и расчета процессов, происходящих в реакторных установках ; У-ПК-2[1] - Уметь рассчитывать и проводить исследования процессов, протекающих в реакторных установках ; В-ПК-2[1] - Владеть навыками применения информационных технологий при разработке новых установок, материалов и приборов
Проведение расчетных	Атомный	ПК-3 [1] - способен	З-ПК-3[1] - Знать

исследований и измерений физических характеристик на экспериментальных стендах и установках	ледокольный флот Атомные электрические станции Плавучая АЭС Сфера научных исследований в области ядерной физики и технологий	использовать фундаментальные законы в области физики атомного ядра и частиц, ядерных реакторов, термодинамики, гидродинамики и тепломассопереноса в объеме достаточном для самостоятельного комбинирования и синтеза идей, творческого самовыражения <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.078	основные законы в области физики атомного ядра и частиц, ядерных реакторов, термодинамики, гидродинамики и тепломассопереноса ; У-ПК-3[1] - Уметь применять основные законы в области физики атомного ядра и частиц, ядерных реакторов, термодинамики, гидродинамики и тепломассопереноса практической деятельности и исследовательской работе; В-ПК-3[1] - Владеть навыками анализа, синтеза и нахождения закономерностей при обработке экспериментальных данных
Проведение расчетных исследований и измерений физических характеристик на экспериментальных стендах и установках	Атомный ледокольный флот Атомные электрические станции Плавучая АЭС Сфера научных исследований в области ядерной физики и технологий	ПК-2.2 [1] - способен совершенствовать методы физического и математического моделирования ядерно-физических установок <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.078	З-ПК-2.2[1] - Знать: современные методы для решения задач описания физических процессов в ядерных реакторах, методы моделирования нейтронно-физических процессов и методы теории возмущений, способы представления нейтронных эффективных сечений ; У-ПК-2.2[1] - Уметь: проводить анализ недостатков применения существующих методов и разрабатывать способы их нивелирования; В-ПК-2.2[1] - Владеть: навыками работы с

			современными языками программирования для автоматизации информационного процесса анализа данных
--	--	--	---

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/ 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	24/24/8		25	КИ-8	
2	Часть 2	9-15	21/21/7		25	КИ-15	
	<i>Итого за 6 Семестр</i>		45/45/15		50		
	Контрольные мероприятия за 6 Семестр				50	Э	3-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, 3-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2, 3-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3, 3-ПК-2.2,

							У- ПК- 2.2, В- ПК- 2.2
--	--	--	--	--	--	--	---------------------------------------

* – 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:

Обозна- чение	Полное наименование
КИ	Контроль по итогам
Э	Экзамен

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недел и	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем. , час.	Лаб., час.
	<i>6 Семестр</i>	45	45	15
1-8	Часть 1	24	24	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 материалов, деление ядер, баланс реакции деления, диффузия нейтронов.	Всего аудиторных часов		
		6	6	2
		Онлайн		
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		
		6	6	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		
		6	6	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		
		6	6	2
		Онлайн		
9-15	Часть 2	21	21	7
9 - 10	Физические процессы в ядерных реакторах. Изменение изотопного состава топлива в процессе выгорания. Расход	Всего аудиторных часов		
		6	6	2

	топлива. Воспроизводство ядерного горючего. Отравление и зашлаковывание топлива. Схемы ядерно-энергетических установок современных атомных станций.	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		
		6	6	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		
		6	6	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		
		3	3	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, 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-1	3-ПК-1	Э

	У-ПК-1	Э
	В-ПК-1	Э
ПК-2	З-ПК-2	Э
	У-ПК-2	Э
	В-ПК-2	Э
ПК-2.2	З-ПК-2.2	Э
	У-ПК-2.2	Э
	В-ПК-2.2	Э
ПК-3	З-ПК-3	Э
	У-ПК-3	Э
	В-ПК-3	Э

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 – <i>«отлично»</i>	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 – <i>«хорошо»</i>	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 – <i>«удовлетворительно»</i>	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			
Ниже 60	2 – <i>«неудовлетворительно»</i>	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. 621.039 С12 Физическая теория ядерных реакторов Ч.2 Теория возмущений и медленные нестационарные процессы, Москва: НИЯУ МИФИ, 2013
2. 621.039 Я34 Ядерные реакторы с водой сверхкритического давления (основы теплового расчета) : учебное пособие, Москва: НИЯУ МИФИ, 2015
3. 621.039 П82 Ядерные энергетические установки : учебное пособие для вузов, Москва: Издательский дом МЭИ, 2015
4. 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

Прежде всего, 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 энерговыделения. Получить связь и .

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.

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

Автор(ы):

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