

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

ОДОБРЕНО УМС ТФ НИЯУ МИФИ

Протокол № 6

от 23.12.2022 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
ФИЗИКА ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ

Направление подготовки
(специальность)

[1] 14.03.01 Ядерная энергетика и теплофизика

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	5	180	64	32	0	16	32	Э
Итого	5	180	64	32	0	16	32	

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

Для изучения дисциплины необходимо освоение курсов:

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
--------------------------------	--

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		
Подготовка специалистов с фундаментальной	Ядерные реакторы, энергетические установки,	ПК-4 [1] - Способен применять стандартные пакеты	3-ПК-4[1] - Знать стандартные пакеты прикладных

<p>физико-математической и инженерной подготовкой, знанием основ нейтронно-физических и теплофизических процессов, протекающих в ядерных энергетических установках</p>	<p>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, распространения и взаимодействия излучения с объектами живой и неживой природы, экологический мониторинг окружающей среды, обеспечение безопасности ядерных материалов, объектов и установок атомной промышленности и энергетики.</p>	<p>прикладных программ для математического моделирования процессов и режимов работы объектов</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.028</p>	<p>программ для математического моделирования процессов и режимов работы объектов; У-ПК-4[1] - Уметь применять стандартные пакеты прикладных программ для математического моделирования процессов и режимов работы объектов; В-ПК-4[1] - Владеть навыками работы со стандартными пакетами прикладных программ для математического моделирования процессов и режимов работы объектов</p>		
<p>проектный</p>		<p>Подготовка специалистов с фундаментальной физико-математической и инженерной подготовкой, знанием основ нейтронно-физических и теплофизических процессов, протекающих в ядерных</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,</p>	<p>ПК-7.2 [1] - Способен формулировать исходные данные, выбирать и обосновывать научно-технические решения в области проектирования ЯЭУ</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.028</p>	<p>3-ПК-7.2[1] - Знать основные принципы проектирования ЯЭУ; У-ПК-7.2[1] - Уметь выбирать и обосновывать научно-технические решения в области проектирования ЯЭУ; В-ПК-7.2[1] - Владеть навыками анализа исходных</p>

энергетических установках	системы обеспечения безопасности, системы управления ядерно-физическими установками, программные комплексы для исследования явлений и закономерностей в области теплофизики и энергетики, ядерных реакторов, распространения и взаимодействия излучения с объектами живой и неживой природы, экологический мониторинг окружающей среды, обеспечение безопасности ядерных материалов, объектов и установок атомной промышленности и энергетики.		данных для выбора и обоснования научно-технических решений в области проектирования ЯЭУ
---------------------------	--	--	---

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 (В17)	<p>1.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования чувства личной ответственности за достижение лидерства России в ведущих научно-технических секторах и фундаментальных исследованиях, обеспечивающих ее экономическое развитие и внешнюю безопасность, посредством контекстного обучения, обсуждения социальной и практической значимости результатов научных исследований и технологических разработок.</p> <p>2.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования социальной ответственности ученого за результаты исследований и их</p>

		<p>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.</p>
Профессиональное воспитание	<p>Создание условий, обеспечивающих, формирование ответственности за профессиональный выбор, профессиональное развитие и профессиональные решения (B18)</p>	<p>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.</p>
Профессиональное воспитание	<p>Создание условий, обеспечивающих, формирование научного мировоззрения, культуры поиска нестандартных научно-технических/практических решений, критического отношения к исследованиям лженаучного толка (B19)</p>	<p>1.Использование воспитательного потенциала дисциплин/практик «Научно-исследовательская работа», «Проектная практика», «Научный семинар» для:</p> <ul style="list-style-type: none"> - формирования понимания основных принципов и способов научного познания мира, развития исследовательских качеств студентов посредством их вовлечения в исследовательские проекты по областям научных исследований. <p>2.Использование воспитательного потенциала дисциплин "История науки и инженерии", "Критическое мышление и основы научной коммуникации", "Введение в специальность", "Научно-исследовательская работа", "Научный семинар" для:</p> <ul style="list-style-type: none"> - формирования способности отделять настоящие научные исследования от лженаучных посредством проведения со студентами занятий и регулярных бесед; - формирования критического

		<p>мышления, умения рассматривать различные исследования с экспертной позиции посредством обсуждения со студентами современных исследований, исторических предпосылок появления тех или иных открытий и теорий.</p>
<p>Профессиональное воспитание</p>	<p>Создание условий, обеспечивающих, формирование культуры ядерной безопасности (B24)</p>	<p>1.Использование воспитательного потенциала блока профессиональных дисциплин для формирования чувства личной ответственности за соблюдение ядерной и радиационной безопасности, а также соблюдение государственных и коммерческих тайн. 2.Использование воспитательного потенциала содержания учебных дисциплин «Актуальные проблемы эксплуатации АЭС», «Основы экологической безопасности в ядерной энергетике», «Системы радиационного контроля» для формирования личной ответственности за соблюдение экологической и радиационной безопасности посредством изучения основополагающих документов по культуре ядерной безопасности, разработанных МАГАТЭ и российскими регулирующими органами, норм и правил обращения с радиоактивными отходами и ядерными материалами.</p> <p>3.Использование воспитательного потенциала учебных дисциплин «Контроль и диагностика ядерных энергетических установок», «Надежность оборудования атомных реакторов и управление риском», «Безопасность ядерного топливного цикла», «Ядерные технологии и экология топливного цикла» для формирования личной ответственности за соблюдение и обеспечение кибербезопасности и информационной безопасности объектов атомной отрасли через изучение вопросов организации информационной безопасности на объектах атомной отрасли,</p>

		<p>основных принципов построения системы АСУТП ядерных объектов, методов защиты и хранения информации, принципов построения глубокоэшелонированной и гибкой системы безопасности ядерно-физических объектов.</p> <p>4.Использование воспитательного потенциала содержания блока дисциплин «Экология», «Системы радиационного контроля», «Основы экологической безопасности в ядерной энергетике» для формирования ответственной экологической позиции посредством изучения вопросов обеспечения такого уровня безопасности АЭС, при котором воздействие на окружающую среду, обеспечивает сохранение природных систем, поддержание их целостности и жизнеобеспечивающих функций, через рассмотрение вопросов радиационного контроля при захоронении и переработки ядерных отходов, вопросов замыкания ядерного топливного цикла.</p>
--	--	--

5. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

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

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практик. (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	32/16/0		25	КИ-8	3-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4, 3-ПК-

							7.2, У- ПК- 7.2, В- ПК- 7.2
2	Часть 2	9-16	32/16/0		25	КИ-16	3-ПК- 4, У- ПК-4, В- ПК-4, 3-ПК- 7.2, У- ПК- 7.2, В- ПК- 7.2
	<i>Итого за 7 Семестр</i>		64/32/0		50		
	Контрольные мероприятия за 7 Семестр				50	Э	3-ПК- 4, У- ПК-4, В- ПК-4, 3-ПК- 7.2, У- ПК- 7.2, В- ПК- 7.2

* – 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:

Обозначение	Полное наименование
КИ	Контроль по итогам
Э	Экзамен

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недел	Темы занятий / Содержание	Лек.,	Пр./сем.	Лаб.,
-------	---------------------------	-------	----------	-------

и		час.	, час.	час.
	7 Семестр	64	32	0
1-8	Часть 1	32	16	0
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		
		8	4	0
		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		
		8	4	0
		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		
		8	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
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		
		8	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
9-16	Часть 2	32	16	0
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		
		8	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
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		
		8	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
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		
		8	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
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		
		8	4	0
		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

Проводятся занятия в активной и интерактивной форме: лекции, презентации, разбор конкретных ситуаций, тестирование.

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-4	З-ПК-4	Э, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-4	Э, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-4	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

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	4 – «хорошо»	В	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		С	
70-74		Д	
65-69	3 – «удовлетворительно»	Е	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 – «неудовлетворительно»	Ф	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 П 27 Python. Разработка на основе тестирования. Повинуйся Билли-тестировщику, используя Django, Selenium и JavaScript : , Москва: ДМК Пресс, 2018
2. 621.039 С12 Физическая теория ядерных реакторов Ч.2 Теория возмущений и медленные нестационарные процессы, Москва: НИЯУ МИФИ, 2013
3. 621.039 С12 Физическая теория ядерных реакторов Ч.1 Однородная размножающая среда и теория гетерогенных структур, , : МИФИ, 2007

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 621.039 К36 Ядерная энергетика : , Кесслер Г.;Пер.с англ., Москва: Энергоатомиздат, 1986

2. 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

Для успешного освоения материала студент должен владеть разделами курса "ядерная физика», содержащие описание взаимодействия излучения с веществом, радиоактивность.

Предполагается самостоятельная проработка лекционных материалов для подготовки к практическим занятиям по курсу.

11. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

В помощь лектору рекомендуется использовать литературу и научные материалы.

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, выводится 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 энерговыработки.

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.