

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

ФИЗИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ ВОЗМОЖНОСТИ
ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ ДОЛГОЖИВУЩИХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

Направление подготовки
(специальность)

[1] 14.04.02 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
2	3	108	0	30	0		42	0	Э
Итого	3	108	0	30	0	16	42	0	

АННОТАЦИЯ

Физическое обоснование принципиальной возможности обезвреживания долгоживущих радиоактивных отходов

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель преподавания дисциплины состоит в том, чтобы дать студентам, специализирующимся в области технологии ядерных топливных циклов, фундаментальные знания о физике обезвреживания долгоживущих радиоактивных отходов путем трансмутации долгоживущих продуктов деления в короткоживущие и стабильные нуклиды в нейтронных полях различных ядерных установок, об общем подходе и критерии, которые определяют эффективность трансмутационного процесса. Дать студентам представление о концепциях перспективных ядерных технологических установок для обезвреживания наиболее опасных долгоживущих радионуклидов.

2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Задачи изучения дисциплины состоят в том, чтобы подготовить студентов к самостоятельному решению вопросов, связанных с развитием технологии обращения с радиоактивными отходами ядерной энергетики – один из ключевых вопросов, определяющих приемлемость и масштабы развития этой отрасли энергопроизводства.

3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
УКЦ-2 [1] – Способен к самообучению, самоактуализации и саморазвитию с использованием различных цифровых технологий в условиях их непрерывного совершенствования	З-УКЦ-2 [1] – Знать основные цифровые платформы, технологии и интернет ресурсы используемые при онлайн обучении У-УКЦ-2 [1] – Уметь использовать различные цифровые технологии для организации обучения В-УКЦ-2 [1] – Владеть навыками самообучения, самоактуализации и саморазвития с использованием различных цифровых технологий

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	Код и наименование индикатора достижения профессиональной
--	---------------------------	---	---

		(профессиональный стандарт-ПС, анализ опыта)	компетенции
инновационный			
Исследования и разработки, направленные на создание новой технологической платформы атомной энергетики, расчетное сопровождение энергетического оборудования, обоснование ядерной и радиационной безопасности объектов использования атомной энергии.	Ядерные энерготехнологии нового поколения; функциональные и конструкционные материалы ядерных реакторов; программные комплексы и математические модели для теоретического и расчетно-аналитического анализа безопасности АЭС, объекты использования атомной энергии и ядерного наследия, в части научно-технического и организационно-правового обоснования и обеспечения безопасности.	ПК-6.1 [1] - Способен применять полученные знания для разработки новой технологической платформы атомной энергетики с вовлечением в топливный цикл урана-238 и продуктов переработки отработавшего ядерного топлива. <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.078	З-ПК-6.1[1] - Знать промышленно-реализованные и перспективные технологии переработки отработавшего ядерного топлива реакторов на быстрых нейтронах, требования к конечным продуктам переработки отработавшего ядерного топлива, основные методы обращения с радиоактивными отходами.; У-ПК-6.1[1] - Уметь применять полученные знания в производственной и научной деятельности.; В-ПК-6.1[1] - Владеть методами обеспечения ядерной безопасности и взрыво- и пожаробезопасности применительно к технологиям переработки отработавшего ядерного топлива.
Исследования и разработки, направленные на создание новой технологической платформы атомной энергетики, расчетное сопровождение энергетического оборудования, обоснование ядерной и радиационной безопасности объектов	Ядерные энерготехнологии нового поколения; функциональные и конструкционные материалы ядерных реакторов; программные комплексы и математические модели для теоретического и расчетно-аналитического	ПК-13 [1] - Способен проектировать, создавать и внедрять новые продукты и системы и применять теоретические знания в реальной инженерной практике <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.078	З-ПК-13[1] - Знать математические методы и компьютерные технологии, необходимые для проектирования и разработки программного обеспечения для инженерного анализа инновационных продуктов. ; У-ПК-13[1] - Уметь

использования атомной энергии.	анализа безопасности АЭС, объекты использования атомной энергии и ядерного наследия, в части научно-технического и организационно-правового обоснования и обеспечения безопасности.		разрабатывать и тестировать программное обеспечение для инженерного анализа инновационных продуктов.; В-ПК-13[1] - владеть навыками разработки и тестирования программного обеспечения для инженерного анализа инновационных продуктов.
--------------------------------	---	--	--

4. 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>2 Семестр</i>						
1	Первый раздел	1-8	0/15/0		25	КИ-8	3-ПК-6.1, У-ПК-6.1, В-ПК-6.1, 3-ПК-13, У-ПК-13, В-ПК-13, 3-УКЦ-2, У-УКЦ-2, В-УКЦ-2
2	Второй раздел	9-15	0/15/0		25	КИ-15	3-ПК-6.1, У-ПК-6.1, В-ПК-6.1, 3-ПК-13, У-ПК-13, В-ПК-13, 3-УКЦ-2, У-УКЦ-2, В-УКЦ-2
	<i>Итого за 2 Семестр</i>		0/30/0		50		
	Контрольные мероприятия за 2 Семестр				50	Э	3-ПК-6.1, У-ПК-6.1, В-ПК-6.1, 3-ПК-13, У-ПК-13,

							В-ПК-13, З-УКЦ-2, У-УКЦ-2, В-УКЦ-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

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>2 Семестр</i>	0	30	0
1-8	Первый раздел	0	15	0
1 - 4	Введение в проблему трансмутации долгоживущих продуктов деления (ДПД) в нейтронном поле РАО и их трансмутация. Требования к процессу трансмутации. Состав долгоживущих продуктов деления (ДПД) и младших актинидов (МА). Опасность ДПД и МА. Сравнение захоронения и трансмутации РАО	Всего аудиторных часов		
		0	8	0
		Онлайн		
		0	0	0
5 - 8	Описание процесса трансмутации долгоживущих продуктов деления в нейтронном поле Облучение ДПД в нейтронном поле. Трансмутация ДПД с учетом их накопления в ядерных реакторах (ЯР). Оценка времени выхода на равновесную трансмутацию в тепловых и быстрых реакторах. Трансмутационный цикл. Потери радионуклидов (РН) при рециклировании. Расход нейтронов на трансмутацию ДПД. Особенности трансмутации ДПД без предварительного изотопного разделения. Основные критерии для оценки эффективности трансмутации ДПД.	Всего аудиторных часов		
		0	7	0
		Онлайн		
		0	0	0
9-15	Второй раздел	0	15	0
9 - 12	Генерация нейтронов для трансмутации долгоживущих продуктов деления Критические системы (ядерные реакторы - ЯР). Баланс нейтронов в ЯР. Изменение характеристик теплового и быстрого реакторов при замене всего (или части) U-238 на ДПД. Трансмутация ПД с не малым и малым сечением захвата нейтронов. Импульсные реакторы и ядерные взрывы. Стратегия трансмутации ДПД.	Всего аудиторных часов		
		0	8	0
		Онлайн		
		0	0	0
13 - 15	Трансмутация (выжигание) младших актинидов Наиболее общие характеристики МА. Сечения. Плотностной эффект реактивности по теплоносителю в	Всего аудиторных часов		
		0	7	0
		Онлайн		

	реакторе с МА-топливом. Аварийная защита в реакторе-сжигателе МА. Проблема распухания твердого МА-топлива. Проблема малого Доплер-эффект в МА-топливе. Радиационные характеристики МА. Потенциальная роль МА в повышении защищенности Р_и в ТЦ. Что делать с Am-243 и Cm (Cm-244). Сравнение трансмутации МА и ДПД по расходу нейтронов. Баланс нейтронов при сжигании МА. Баланс нейтронов в цепочке трансмутации Np-237 и Am-241 в быстром и тепловом спектрах нейтронов. Возможность трансмутации МА в тепловом реакторе. Ядерно-физические свойства МА, важные для их сжигания. Физика быстрого реактора-выжигателя МА. ТВС – “Нейтронная ловушка”. Тепловыделение топлива с МА. Характеристики БР (БН-350) с разным топливом и теплоносителем. БР с предельно жестким спектром нейтронов.	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

5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Компьютерные презентации.

6. 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-13	З-ПК-13	Э, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-13	Э, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-13	Э, КИ-8, КИ-15
ПК-6.1	З-ПК-6.1	Э, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-6.1	Э, КИ-8, КИ-15

	В-ПК-6.1	Э, КИ-8, КИ-15
УКЦ-2	3-УКЦ-2	Э, КИ-8, КИ-15
	У-УКЦ-2	Э, КИ-8, КИ-15
	В-УКЦ-2	Э, 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 – <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.

7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

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

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

8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Специальное материально-техническое обеспечение не требуется

9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ

1. Апсэ В.А., Синцов А.Е., Шмелев А.Н., Куликов Г.Г., Саито М., Артисюк В.В. Радиоактивные отходы: пути обезвреживания // Инженерная физика. 2001. №4.

2. А.Н.Шмелев, В.А.Апсэ, Г.Г.Куликов. Физические основы обезвреживания долгоживущих радиоактивных отходов (трансмутация нейтронами): Учебное пособие. М.: МИФИ, 2002.

3. В.А.Апсэ и А.Н.Шмелев. Основы безопасного обращения с радиоактивными отходами: Учебное пособие. М.: МИФИ, 2006.

4. А.Н.Шмелев, В.А.Апсэ, Г.Г.Куликов. Физические основы обезвреживания долгоживущих радиоактивных отходов. Потенциал инновационных технологий: Учебное пособие. М.: МИФИ, 2008.

5. А.Н.Шмелев, Г.Г.Куликов, Н.И.Гераскин, В.А.Апсэ, Е.Г.Куликов. Физические основы замкнутого (Th-233U-235U-238U-Pu)-цикла (эффективное топливоиспользование, нераспространение, обезвреживание РАО): Учебное пособие. М.: НИЯУ МИФИ, 2017.

6. В.А.Апсэ, А.Н.Шмелев, Г.Г.Куликов, Е.Г.Куликов. Основы безопасного обращения и обезвреживания радиоактивных отходов: Учебное пособие. М.: НИЯУ МИФИ, 2019.

10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

1. Апсэ В.А., Синцов А.Е., Шмелев А.Н., Куликов Г.Г., Саито М., Артисюк В.В. Радиоактивные отходы: пути обезвреживания // Инженерная физика. 2001. №4.

2. А.Н.Шмелев, В.А.Апсэ, Г.Г.Куликов. Физические основы обезвреживания долгоживущих радиоактивных отходов (трансмутация нейтронами): Учебное пособие. М.: МИФИ, 2002.

3. В.А.Апсэ и А.Н.Шмелев. Основы безопасного обращения с радиоактивными отходами: Учебное пособие. М.: МИФИ, 2006.

4. А.Н.Шмелев, В.А.Апсэ, Г.Г.Куликов. Физические основы обезвреживания долгоживущих радиоактивных отходов. Потенциал инновационных технологий: Учебное пособие. М.: МИФИ, 2008.

5. А.Н.Шмелев, Г.Г.Куликов, Н.И.Гераскин, В.А.Апсэ, Е.Г.Куликов. Физические основы замкнутого (Th-233U-235U-238U-Pu)-цикла (эффективное топливоиспользование, нераспространение, обезвреживание РАО): Учебное пособие. М.: НИЯУ МИФИ, 2017.

6. В.А.Апсэ, А.Н.Шмелев, Г.Г.Куликов, Е.Г.Куликов. Основы безопасного обращения и обезвреживания радиоактивных отходов: Учебное пособие. М.: НИЯУ МИФИ, 2019.

Автор(ы):

Куликов Геннадий Генрихович, к.ф.-м.н.