

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
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ РЕАКТОРНАЯ ФИЗИКА

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

Курс содержит сведения о современном состоянии проблем получения экспериментальной информации о нейтронно - физических процессах в ядерных реакторах и об их характеристиках, о применяемых для экспериментов методах и приборах. Обсуждается взаимосвязь между экспериментом и расчетом и ее влияние на условия проведения опытов. Рассматриваются основные задачи экспериментальной реакторной физики и современный подход к их решению. Анализируются возможности усовершенствования технологии экспериментальных исследований и повышения их эффективности и информативности.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель изучения дисциплины заключается в ознакомлении студентов с современным состоянием экспериментальных исследований на ядерных реакторах и перспективами продолжения их развития, особенностями проведения экспериментов на установках разных типов, отличающихся спектром, плотностью потока нейтронов и режимами работы и приобретении навыков выбора оптимальных приборно-методических решений задач, стоящих перед нейтронными реакторными экспериментами.

Задачи изучения дисциплины:

- приобретение знаний об особенностях проведения нейтронно-физических экспериментов на реакторных установках разного типа;
- овладение навыками оптимального выбора методического и приборного решения при проведении реакторных экспериментов с учетом необходимой информативности полученных результатов и минимальных затрат.

2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Содержание программы направлено на формирование знаний в области экспериментальной ядерной физики. Изучение данной дисциплины позволит получить знания о реакторных экспериментах и экспериментальной аппаратуре. Изучение курса требует освоения студентами дисциплин, в которых даются основы ядерных технологий. Помимо этого необходимо знакомство с дисциплинами по теории вероятности.

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;	Код и наименование индикатора достижения
--	---------------------------	--	--

		Основание (профессиональный стандарт-ПС, анализ опыта)	профессиональной компетенции
научно-исследовательский			
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-7.2 [1] - Способен к проведению физических экспериментов на основе апробированной методики с целью определения теплофизических и нейтронно-физических параметров ЯЭУ различного назначения <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.078	З-ПК-7.2[1] - знать методы проведения исследований теплофизических и нейтронно-физических процессов; У-ПК-7.2[1] - уметь проводить экспериментальные исследования по заданной методике; В-ПК-7.2[1] - владеть методами анализа погрешности физических экспериментов
Исследования перспективных типов ядерных энергетических установок, теплофизические исследования перспективных твэлов, топлива, конструкционных материалов и теплоносителей. Разработка моделей и программных комплексов для расчета	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-2 [1] - Способен проводить математическое моделирование процессов и объектов на базе стандартных пакетов автоматизированного проектирования и исследований <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.078, 40.011	З-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

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	системы управления ядерно-физическими установками, программные комплексы для исследования явлений и закономерностей в области теплофизики и энергетики, ядерных реакторов		пакетов автоматизированного проектирования и исследований;; В-ПК-2[1] - владеть навыками математического моделирования процессов и объектов на базе стандартных пакетов 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: 24.028, 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,	Ядерные реакторы, энергетические установки, теплогидравлические и нейтронно-	ПК-9 [1] - Способен к выполнению работ по стандартизации и подготовке к сертификации	З-ПК-9[1] - Знать номенклатуру работ по стандартизации и подготовке к сертификации

ядерно-физических исследований, неравновесных физических процессов	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	технических средств, систем, оборудования и материалов <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.028, 24.032	технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов; У-ПК-9[1] - Уметь выполнять работы по подготовке к сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и 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
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование чувства личной ответственности за научно-технологическое развитие России, за результаты исследований и их последствия (В17)	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. 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.
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование навыков коммуникации, командной работы и лидерства (B20)	1.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для развития навыков коммуникации, командной работы и лидерства, творческого инженерного мышления, стремления следовать в профессиональной деятельности нормам поведения, обеспечивающим нравственный характер трудовой деятельности и неслужебного поведения, ответственности за принятые решения через подготовку групповых курсовых работ и практических заданий, решение кейсов, прохождение практик и подготовку ВКР. 2.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для: - формирования производственного коллективизма в ходе совместного решения как модельных, так и практических задач, а также путем подкрепление рационально-технологических навыков взаимодействия в проектной деятельности эмоциональным эффектом успешного взаимодействия, ощущением роста общей эффективности при распределении проектных задач в соответствии с сильными компетентностными и эмоциональными свойствами членов проектной группы.
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование способности и стремления следовать в профессии нормам	1.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для развития навыков

	поведения, обеспечивающим нравственный характер трудовой деятельности и неслужебного поведения (B21)	коммуникации, командной работы и лидерства, творческого инженерного мышления, стремления следовать в профессиональной деятельности нормам поведения, обеспечивающим нравственный характер трудовой деятельности и неслужебного поведения, ответственности за принятые решения через подготовку групповых курсовых работ и практических заданий, решение кейсов, прохождение практик и подготовку ВКР. 2.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для: - формирования производственного коллективизма в ходе совместного решения как модельных, так и практических задач, а также путем подкрепление рационально-технологических навыков взаимодействия в проектной деятельности эмоциональным эффектом успешного взаимодействия, ощущением роста общей эффективности при распределении проектных задач в соответствии с сильными компетентностными и эмоциональными свойствами членов проектной группы.
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование творческого инженерного/профессионального мышления, навыков организации коллективной проектной деятельности (B22)	1.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для развития навыков коммуникации, командной работы и лидерства, творческого инженерного мышления, стремления следовать в профессиональной деятельности нормам поведения, обеспечивающим нравственный характер трудовой деятельности и неслужебного поведения, ответственности за принятые решения через подготовку групповых курсовых работ и

		практических заданий, решение кейсов, прохождение практик и подготовку ВКР. 2.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для: - формирования производственного коллективизма в ходе совместного решения как модельных, так и практических задач, а также путем подкрепление рационально-технологических навыков взаимодействия в проектной деятельности эмоциональным эффектом успешного взаимодействия, ощущением роста общей эффективности при распределении проектных задач в соответствии с сильными компетентностными и эмоциональными свойствами членов проектной группы.
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование культуры информационной безопасности (В23)	Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования базовых навыков информационной безопасности через изучение последствий халатного отношения к работе с информационными системами, базами данных (включая персональные данные), приемах и методах злоумышленников, потенциальном уроне пользователям.
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование культуры ядерной безопасности (В24)	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 формирование 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. 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, основных принципов построения системы АСУТП ядерных объектов, методов защиты и хранения информации, принципов построения глубокошелонированной и гибкой системы безопасности ядерно-физических объектов. 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.
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование ответственности за обеспечение кибербезопасности объектов атомной отрасли (В25)	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 формирование 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. 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, основных принципов построения системы АСУТП ядерных объектов, методов защиты и хранения информации, принципов построения глубокоэшелонированной и гибкой системы безопасности ядерно-физических объектов. 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.
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование ответственной экологической позиции (B26)	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. 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, основных принципов построения системы АСУТП ядерных объектов, методов защиты и хранения информации, принципов построения глубокоэшелонированной и гибкой системы безопасности ядерно-физических объектов. 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.
--	--	---

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-2, У-ПК-2, В-ПК-2, 3-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3, 3-ПК-7.2, У-ПК-7.2, В-ПК-7.2, 3-ПК-9, У-ПК-9, В-ПК-9
2	Часть 2	9-15	16/0/16		25	КИ-16	3-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2, 3-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3,

							3-ПК-7.2, У-ПК-7.2, В-ПК-7.2, 3-ПК-9, У-ПК-9, В-ПК-9
	<i>Итого за 7 Семестр</i>		32/0/32		50		
	Контрольные мероприятия за 7 Семестр				50	Э	3-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2, 3-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3, 3-ПК-7.2, У-ПК-7.2, В-ПК-7.2, 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
1-8	Часть 1	16	0	16
1	1. Введение Задачи курса. Необходимость проведения эксперимента в нейтронной и реакторной физике. Требования к условиям и результатам. Связь эксперимента и расчета	Всего аудиторных часов		
		2	0	2
		Онлайн		
		0	0	0
2 - 4	2. Источники нейтронов, детектирование нейтронов Ядерные реакции, используемые для получения нейтронов. Характеристики источников: энергетическое и временное распределение нейтронов, мощность источника, сопутствующие излучения. Радиоактивные источники нейтронов, их характеристики. Применение ускорителей заряженных частиц для получения нейтронов. Применение ускорителей электронов. Возможность получения пучков моноэнергетических нейтронов с помощью ускорителей тяжелых частиц. Протонный ускоритель как мощный	Всего аудиторных часов		
		6	0	6
		Онлайн		
		0	0	0

	источник нейтронов. Возможности нейтронных экспериментов на ядерных реакторах. Задачи выведения и формирования нейтронных пучков. Принцип работы детекторов. Их характеристики: энергетическое и временное разрешение, эффективность. Представление детектора с помощью функции отклика. Газовые ионизационные детекторы. Камеры деления. Пропорциональные счетчики. Коронные счетчики. Применение газовых детекторов. Сцинтилляционные детекторы. Устройство и типы сцинтилляционных детекторов. Применение сцинтилляционных детекторов. Полупроводниковые детекторы, их устройство и конструкция. Калибровка детекторов. Математическая обработка результатов спектрометрических измерений. Активационный анализ. Возмещение нейтронного поля детектором. Эффекты искажения информации в электронном измерительном тракте. Способы получения поправок.			
5 - 7	3. Сечения нейтронных реакций Полное и парциальные сечения, относительные изменения сечений и абсолютные величины. Измерение полного сечения взаимодействия нейтронов методом пропускания. Определение параметров резонансов. Искажение результатов в результате эффекта Доплера и интерференции между потенциальным и резонансным упругим рассеянием. Сечения упругого и неупругого рассеяния, их зависимости от энергии. Схемы опытов по измерению сечений рассеяния. Сечение радиационного захвата. Способы определения, аппаратура, схемы опытов. Результаты измерений сечения захвата. Реакция деления ядер. Энергия деления, продукты деления, мгновенные и запаздывающие нейтроны. Зависимость сечения от энергии и массового числа ядра. Конкуренция деления с другими реакциями. Обзор и анализ сечений упругого и неупругого рассеяния, радиационного захвата, (n,p), (n,α), (n,n')-реакций. Схема опыта по измерению сечений деления, результаты.	Всего аудиторных часов		
		6	0	6
		Онлайн		
		0	0	0
8	4. Измерение спектров нейтронов Параметры стационарного поля нейтронов: плотность потока нейтронов, спектр нейтронов, флюенс нейтронов. Спектры нейтронов в реакторах разных типов. Требуемая информация о спектре, условия проведения опытов. Ограничения. Способы определения интегральных характеристик спектра: метод поглощающего экрана, метод спектральных индексов. Применение наборов активационных детекторов для определения спектра нейтронов. Формирование оптимального набора с учетом чувствительности детекторов. Восстановление спектра по результатам	Всего аудиторных часов		
		2	0	2
		Онлайн		
		0	0	0

	активационных измерений. Погрешности. Способ проверки результатов. Измерение спектра нейтронов "по времени пролета". Схема установки. Разрешающая способность и скорость набора информации. Оптимизация параметров (длительность импульса, длина пролетной базы) измерительной установки. Примеры установок для измерений реакторных спектров.			
9-15	Часть 2	16	0	16
9 - 10	5. Определение размножающих свойств среды Составы и структуры размножающих сред. Параметры размножения, требования к точности их определения. Экспоненциальный опыт, пространственно энергетическое распределение нейтронов в подкритической сборке. Источники и детекторы нейтронов для подкритических опытов, размерыборок. Особенности опытов с гетерогенными средами. Обзор результатов экспоненциальных опытов с различными средами. Определение критического размера реактора методом приближения к критическому состоянию. Схема опыта: размещение источника, детектора, способы измерения размеров сборки.	Всего аудиторных часов		
		4	0	6
		Онлайн		
		0	0	0
11 - 12	6. Измерение нейтронно-физических параметров решетки ядерного реактора Измерение параметра МКК: применяемый детектор, его расположение, измеряемые величины, аппаратура, погрешности измерений. Измерение параметров 25¢ и 28¢ : детекторы, их расположение, измеряемые величины. Два возможных подхода к решению задачи: с помощью кадмиевого экрана и с помощью детектора тепловых нейтронов. Погрешности измерений и интерпретация результатов. Измерение параметра 28¢ : детекторы, их расположение, измеряемые величины. Погрешности результатов измерений. Связи физических параметров ячейки со спектром нейтронов и коэффициентами в формуле четырех сомножителей. Погрешность определения физических параметров и ее соответствие требованиям.	Всего аудиторных часов		
		4	0	10
		Онлайн		
		0	0	0
13 - 14	7. Методы измерения реактивности Понятие о реактивности, единицы измерения реактивности. Температурный и мощностной коэффициенты реактивности. Некритический реактор. Уравнения точечной кинетики, их применимость. Задача управления реактором. Определение реактивности методом измерения асимптотического периода. Границы применимости метода. Изменения значения $\beta_{\text{эф}}$ при работе реактора. Измерения реактивности с помощью реактиметров. Масштабы измеряемых значений реактивности. Погрешности измерений. Определение реактивности методом сброса	Всего аудиторных часов		
		4	0	0
		Онлайн		
		0	0	0

	поглощающего стержня. Интегральный и дифференциальный методы. Применение метода.			
15 - 16	8. Анализ изотопного состава топлива Измерение изотопного состава топлива в процессе работы реактора. Интегральные параметры, характеризующие долговременную работу реактора: энерговыработка, выгорание топлива, флюенс нейтронов, и др. Методы, применяемые для анализов состава топлива. Неразрушающие измерения выгорания ядерного топлива в ТВС. Гамма- спектрометрическое определение выгорания: условия опыта, измерительная система, погрешности результатов измерений. Определение выгорания по нейтронному излучению отработавших ТВС. Определение выгорания и содержания трансурановых радионуклидов в топливе с помощью метода изотопных корреляций. Разрушающие методы анализа: радиохимия, масс-спектрометрия. Схемы опытов по определению глубины выгорания топлива.	Всего аудиторных часов		
		4	0	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

Курс реализует компетентностный подход и предусматривает широкое использование в учебном процессе активных форм проведения занятий (практические занятия, система контрольно-измерительных материалов, включая тесты) в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков студентов.

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, недостаточно правильные формулировки, 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. 006 П81 Метрология, стандартизация и сертификация в атомной отрасли : монография, Пронкин Н.С., Немчинов В.М., Москва: НИЯУ МИФИ, 2014
2. ЭИ П81 Метрология, стандартизация и сертификация в атомной отрасли : монография, Пронкин Н.С., Немчинов В.М., Москва: НИЯУ МИФИ, 2014
3. 621.039 Б94 Экспериментальная реакторная физика : учебное пособие для вузов, Бушуев А.В., Москва: МИФИ, 2008
4. ЭИ Б94 Экспериментальная реакторная физика : учебное пособие для вузов, Бушуев А.В., Москва: МИФИ, 2008

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

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 изучении курса следует ознакомиться с различными типами источников нейтронов и их характеристиками (мощность и спектр нейтронов, режимы генерации), с системами детектирования радиоактивных излучений, методами измерения энергетических и временных спектров.

Особое внимание необходимо уделить изучению нейтронных реакций в разных диапазонах энергии, на ядрах разной массы. Следует сформулировать выводы о том, какие процессы наиболее вероятны для медленных и быстрых нейтронов, как изменяются соотношения между вероятностями процессов в зависимости от типа реактора.

Нужно установить факторы, влияющие на формирование нейтронного поля и ознакомиться с методами, применяемыми для определения спектров нейтронов в экспериментальных и энергетических реакторах.

Нужно знать требования, предъявляемые к нейтронным датчикам, применяемым в системах управления нейтронным полем в реакторах.

Нужно знать принципы построения систем внутриреакторного контроля. Следует знать приемы перекалибровки эффективности датчиков для учета их выгорания.

Требуется усвоить важность определения глубины выгорания ядерного топлива в реакторе и ознакомиться с методами её определения, основанными на гамма-спектрометрии и измерениях нейтронного излучения топливных сборок. Провести анализ погрешностей определения выгорания и способов их минимизации.

Провести сравнительный анализ разрушающих и неразрушающих методов определения нуклидного состава ядерного топлива: точности, трудоёмкости, стоимости. Надо иметь представление о принципах и особенностях разрушающих методов: масс-спектрометрии, альфа-спектрометрии.

11. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

Необходимо объяснить студентам историю и направления развития современной физики реакторов, требования к современным реакторным экспериментам, необходимость измерений для эффективной и безопасной эксплуатации ядерных реакторов. В связи с развитием ядерного топливного цикла существует постоянная потребность в уточнении и дополнении ядерных данных. Достижение этих целей требует развития приборно-методической базы для экспериментов на реакторах разных типов.

Нужно показать, что в связи с неуклонным увеличением продолжительности облучения ядерного топлива возникает потребность в новых данных о сечениях реакций, а значит в новых экспериментах. Следует объяснить, что для определения каждого реакторного параметра существует несколько методов и успех исследования определяется выбором оптимального решения. Следует провести сравнение неразрушающих и разрушающих анализов и указать на растущее применение неразрушающих методов.

При анализе различных экспериментов (измерения нейтронных сечений, определение реакторных параметров) следует уделять внимание способам минимизации влияющих факторов. Дать определению понятию “качества” метода и рассмотреть меры по контролю качества. Рассмотреть возможности снижения фона с помощью пассивной и активной защиты детекторов. Рассказать о роли программ математической обработки экспериментальных данных для обнаружения и измерения эффектов.

Следует особое внимание уделить вопросам измерений реактивности и измерений нуклидного состава топлива в процессе его облучения в реакторе. При описании методов измерений нужно фиксировать внимание на границах их применимости и достижимой точности. Указать на связь между требуемой точностью и технико-экономическими последствиями погрешностей. Объяснить, почему для экспериментов на разных реакторах применяют разные методы и приборы.

Автор(ы):

Алеева Татьяна Борисовна, к.ф.-м.н.