

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

ОДОБРЕНО УМС ИЯФИТ

Протокол № 01/423-573.1

от 20.04.2023 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**АКТИВНЫЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ ЯДЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

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
9	3-4	108- 144	16	32	0	24-60	0	Э
Итого	3-4	108- 144	16	32	0	24-60	0	

## АННОТАЦИЯ

Курс рассчитан на развитие первоначальных знаний и понятий об активных методах контроля делящихся материалов с помощью внешних источников облучения. Основной упор делается на импульсные источники излучения и их возможности при получении нейтронных потоков с различной энергией в установках анализа состава ТВС ядерных реакторов. Раскрывается физическая сущность и особенности замедления импульса быстрых нейтронов в тяжелых и легких средах. Рассматриваются детекторы нейтронных полей, их характеристики и возможность использования в нестационарных измерениях с различными энергиями нейтронных потоков. На основании этих знаний приводятся примеры построения существующих отечественных и зарубежных установок активного контроля ТВС с объяснением физических принципов их работы. Курс дополняется компьютерным моделированием комплекса лабораторных работ, поясняющим физические основы использования импульсных нейтронных генераторов в установках контроля делящихся материалов, что дает возможность усвоить студентам преимущества активных методов контроля содержания делящихся веществ в ТВС ядерных реакторов и образцах делящихся материалов.

### 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения учебной дисциплины состоит в том, чтобы познакомить студентов с основами физических методов и установок, которые используются для контроля состава делящихся материалов при исследовании ТВС ядерных реакторов и отходов ядерного производства.

### 2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Содержание программы дисциплины направлено на формирование знаний в области контроля состава делящихся материалов. Изучение курса требует освоения студентами таких дисциплин физика, химия, теория ядерных реакторов.

Изучение дисциплины позволит студентам получить знания и развивать навыки по анализу делящихся материалов ТВС ядерных реакторов и отходов ядерного производства.

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

		(профессиональный стандарт-ПС, анализ опыта)	компетенции
научно-исследовательский			
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-1 [1] - способен 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	З-ПК-1[1] - Знать 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
Подготовка исходных данных, наладка экспериментальных стендов и установок для обеспечения выполнения научных исследований	Атомные электрические станции. Плавучая АЭС. Сфера научных исследований в области ядерной физики и технологий ядерные реакторы, предприятия ядерного топливного цикла.	ПК-1.1 [1] - Способен разрабатывать и применять новые методы и методики оценки количественных характеристик ядерных материалов  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.031	З-ПК-1.1[1] - Знать методы измерения основных характеристик ядерных материалов; У-ПК-1.1[1] - Уметь организовывать и проводить измерения основных характеристик ядерных материалов ; В-ПК-1.1[1] - Владеть современными методами организации учета и контроля ядерных материалов
Проведение расчетных исследований и измерений физических характеристик на экспериментальных	Атомный ледокольный флот Атомные электрические станции Плавучая	ПК-2 [1] - способен к созданию новых методов расчета современных реакторных установок и	З-ПК-2[1] - Знать методы исследования и расчета процессов, происходящих в реакторных установках

стендах и установках	АЭС Сфера научных исследований в области ядерной физики и технологий	<p>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</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.078</p>	<p>; 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</p>
Разработка методов повышения безопасности ядерных установок и материалов	Атомный ледокольный флот Атомные электрические станции Плавучая АЭС Сфера научных исследований в области ядерной физики и технологий	<p>ПК-2.4 [1] - способен выбирать критерии безопасной работы ядерной установки и оценивать риски при эксплуатации</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.078</p>	<p>3-ПК-2.4[1] - Знать основные нормативные документы по регулированию рисков возникающих в процессе эксплуатации новых установок и технологий, составлять и анализировать сценарии потенциально возможных аварий, разрабатывать методы уменьшения риска их возникновения; У-ПК-2.4[1] - Уметь оценивать риск и определять меры безопасности для новых установок и технологий, составлять и анализировать сценарии потенциально возможных аварий, разрабатывать методы уменьшения риска их возникновения; В-ПК-2.4[1] - Владеть методами оценки рисков и определять меры безопасности для новых установок и технологий, составлять и анализировать</p>

			сценарии потенциально возможных аварий, разрабатывать методы уменьшения риска их возникновения
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-3 [1] - способен использовать фундаментальные законы в области физики атомного ядра и частиц, ядерных реакторов, термодинамики, гидродинамики и теплопереноса в объеме достаточном для самостоятельного комбинирования и синтеза идей, творческого самовыражения  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.078	3-ПК-3[1] - Знать основные законы в области физики атомного ядра и частиц, ядерных реакторов, термодинамики, гидродинамики и теплопереноса ; У-ПК-3[1] - Уметь применять основные законы в области физики атомного ядра и частиц, ядерных реакторов, термодинамики, гидродинамики и теплопереноса практической деятельности и исследовательской работе; В-ПК-3[1] - Владеть навыками анализа, синтеза и нахождения закономерностей при обработке экспериментальных данных
производственно-технологический			
Анализ работы системы учета и контроля обращения ядерного топлива и принятие мер по устранению выявленных недостатков	Учет и контроль ядерных материалов в области ядерной энергетики. Атомные электрические станции Плавучая АЭС.	ПК-1.2 [1] - Способен применять на практике процедуры учета и контроля ядерных материалов  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.031	3-ПК-1.2[1] - Знать современные процедуры учета и контроля ядерных материалов; У-ПК-1.2[1] - Уметь организовывать и проводить процедуры с ядерными материалами; В-ПК-1.2[1] - Владеть современными экспериментальными методами измерения ЯМ и процедурами учета и контроля

#### 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/ Практик. (семинары) / Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
	<i>9 Семестр</i>						
1	Часть 1	1-9	9/18/0		25	КИ-8	3-ПК-2.4
2	Часть 2	10-16	7/14/0		25	КИ-16	3-ПК-2.4, У-ПК-2.4, В-ПК-2.4
	<i>Итого за 9 Семестр</i>		16/32/0		50		
	<b>Контрольные мероприятия за 9 Семестр</b>				50	Э	3-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, 3-ПК-1.1, У-ПК-1.1, В-ПК-1.1, 3-ПК-1.2, У-ПК-1.2, В-ПК-1.2,

							3-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2, 3-ПК-2.4, У-ПК-2.4, В-ПК-2.4, 3-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3
--	--	--	--	--	--	--	--

\* – 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>9 Семестр</i>	16	32	0
<b>1-9</b>	<b>Часть 1</b>	9	18	0
1 - 3	<b>Задачи учета, контроля и обнаружения делящихся материалов.</b> Введение. Задачи учета, контроля и обнаружения делящихся материалов в проблеме нераспространения ядерных материалов. Классификация неразрушающих способов контроля состава делящихся материалов, достоинства и недостатки пассивных и активных методов определения их количественного состава. Физические основы контроля делящихся материалов под воздействием внешнего излучения различного вида. Понятие параметров и характеристик обнаружения делящихся материалов при использовании метода активного контроля.	Всего аудиторных часов		
		3	6	0
		Онлайн		
		0	0	0
4 - 6	<b>Взаимодействие излучений с веществом.</b>	Всего аудиторных часов		

	Взаимодействие нейтронов и гамма квантов с различными материалами. Важнейшие характеристики взаимодействия делящихся материалов с нейтронами и гамма квантов, используемые в активных методах контроля.	3	6	0
		Онлайн		
		0	0	0
7 - 9	<b>Источники внешнего облучения ДМ.</b> Источники внешнего облучения ДМ в активных методах контроля, их спектры и энерго-угловое распределение излучений. Источники нейтронов, работающие в непрерывном и модулированном временных режимах и достоинства их использования в активных методах контроля. Детекторы и аппаратура, используемые в активных методах контроля, их особенности и свойства.	Всего аудиторных часов		
		3	6	0
		Онлайн		
		0	0	0
<b>10-16</b>	<b>Часть 2</b>	7	14	0
10 - 12	<b>Физические методы установок активного контроля.</b> Физические методы, используемые в установках активного контроля делящихся материалов, работающих в непрерывном и импульсном режимах. Цифровая технология в активных методах контроля делящихся материалов.	Всего аудиторных часов		
		3	6	0
		Онлайн		
		0	0	0
13 - 15	<b>Импульсные источники нейтронов в активном контроле.</b> Установки активного контроля делящихся материалов работающие в непрерывном и импульсном режимах источников внешнего облучения делящихся материалов. Контроль ядерных материалов и ТВС ядерных реакторов с применением импульсных нейтронных источников, проблемы и их решения.	Всего аудиторных часов		
		3	6	0
		Онлайн		
		0	0	0
16	<b>Роль расчета.</b> Роль расчета при разработке физических методов и установок активного контроля делящихся материалов.	Всего аудиторных часов		
		1	2	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

#### ТЕМЫ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Недели	Темы занятий / Содержание
	<i>9 Семестр</i>
1	<b>Определение обогащения урановых образцов с</b>



	<b>помощью запаздывающих нейтронов.</b> Определение обогащения урановых образцов с помощью запаздывающих нейтронов.
2	<b>Определение содержания <math>^{235}\text{U}</math> в урановых образцах пропусканием через них тепловых нейтронов.</b> Определение содержания $^{235}\text{U}$ в урановых образцах пропусканием через них тепловых нейтронов.
3	<b>Контроль содержания <math>^{235}\text{U}</math> в тепловыделяющих сборках ядерных реакторов с помощью импульсного нейтронного источника.</b> Контроль содержания $^{235}\text{U}$ в тепловыделяющих сборках ядерных реакторов с помощью импульсного нейтронного источника.
4	<b>Измерение информативных параметров содержания <math>^{235}\text{U}</math> в гетерогенных ТВС ядерных реакторов.</b> Измерение информативных параметров содержания $^{235}\text{U}$ в гетерогенных ТВС ядерных реакторов.
5	<b>Определение счета временных совпадений частиц спонтанного распада <math>^{252}\text{Cf}</math> в защитном контейнере .</b> Определение счета временных совпадений частиц спонтанного распада $^{252}\text{Cf}$ в защитном контейнере .
6	<b>Определение содержания <math>^{235}\text{U}</math> в урановых образцах с помощью цифровой обработки их сцинтилляционных откликов.</b> Определение содержания $^{235}\text{U}$ в урановых образцах с помощью цифровой обработки их сцинтилляционных откликов.

## 6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Предусматривается широкое использование в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения занятий (компьютерных презентаций, разбора конкретных ситуаций по теме) 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-1	З-ПК-1	Э
	У-ПК-1	Э
	В-ПК-1	Э
ПК-1.1	З-ПК-1.1	Э
	У-ПК-1.1	Э

	В-ПК-1.1	Э
ПК-1.2	З-ПК-1.2	Э
	У-ПК-1.2	Э
	В-ПК-1.2	Э
ПК-2	З-ПК-2	Э
	У-ПК-2	Э
	В-ПК-2	Э
ПК-2.4	З-ПК-2.4	Э, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-2.4	Э, КИ-16
	В-ПК-2.4	Э, КИ-16
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 – «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. ЭИ L24 A Primer on Scientific Programming with Python : , Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2016
2. ЭИ H33 An Introduction to Statistics with Python : With Applications in the Life Sciences, Cham: Springer International Publishing, 2016
3. ЭИ И37 Измерение отложений ядерных материалов в технологическом оборудовании : лабораторный практикум, Москва: НИЯУ МИФИ, 2014
4. 621.039 P70 Лабораторные работы по активным методам неразрушающего контроля делящихся материалов : учебное пособие для вузов, В. Л. Ромоданов, Москва: МИФИ, 2007
5. 621.039 P70 Физические методы и установки активного контроля делящихся материалов : учебное пособие для вузов, В. Л. Ромоданов, Москва: МИФИ, 2007

### 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**

В результате освоения дисциплины студент должен обладать:

Способностью к самостоятельному решению вопросов, связанных с разработкой современных физических методов активного и пассивного контроля делящихся материалов,

проведению физических экспериментов с целью определения характеристик ядерных материалов;

Способностью к самостоятельному решению вопросов, связанных с технологией подготовки данных для расчета характеристик ядерных материалов, при планировании и обсчете экспериментов, при разработке усовершенствованных систем учета и контроля ядерных материалов;

способностью эксплуатировать, проводить испытания и ремонт современных физических установок для неразрушающего анализа состава ядерных материалов.

## **11. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ**

В результате обучения преподаватель помогает развить у студента:

Способность к самостоятельному решению вопросов, связанных с разработкой современных физических методов активного и пассивного контроля делящихся материалов, проведению физических экспериментов с целью определения характеристик ядерных материалов;

Способность к самостоятельному решению вопросов, связанных с технологией подготовки данных для расчета характеристик ядерных материалов, при планировании и обсчете экспериментов, при разработке усовершенствованных систем учета и контроля ядерных материалов;

способностью эксплуатировать, проводить испытания и ремонт современных физических установок для неразрушающего анализа состава ядерных материалов.

Автор(ы):

Ромоданов Вадим Леонидович, д.ф.-м.н., профессор