

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

ОДОБРЕНО УМС ИЯФИТ

Протокол № 01/0821-573.1

от 31.08.2021 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ РЕАКТОРНАЯ ФИЗИКА И МЕТРОЛОГИЯ

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	
8	4	144	15	0	45		48	0	Э
Итого	4	144	15	0	45	45	48	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; Основание	Код и наименование индикатора достижения профессиональной
--	---------------------------	---	---

		(профессиональный стандарт-ПС, анализ опыта)	компетенции
производственно-технологический			
Поддержание работоспособности систем, оборудования, средств измерения, контроля, управления, автоматики, вычислительной техники	Атомный ледокольный флот Атомные электрические станции Плавучая АЭС Сфера научных исследований в области ядерной физики и технологий	ПК-12 [1] - способен к эксплуатации современного физического оборудования и приборов, к освоению технологических процессов в ходе подготовки производства новых материалов, приборов, установок и систем; <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.028	З-ПК-12[1] - Знать технологические процессы в ходе подготовки производства новых материалов, приборов, установок и систем ; У-ПК-12[1] - Уметь подготавливать производство новых материалов, приборов, установок и систем ; В-ПК-12[1] - Владеть навыками эксплуатации современного физического оборудования и приборов
научно-исследовательский			
Подготовка исходных данных, наладка экспериментальных стендов и установок для обеспечения выполнения научных исследований	Атомный ледокольный флот Атомные электрические станции Плавучая АЭС Сфера научных исследований в области ядерной физики и технологий	ПК-2.3 [1] - способен применять современные экспериментальные методы измерений и обработки данных по ядерно-физическим и теплофизическим свойствам материалов; нейтронно-физических и теплогидравлических параметров ядерной установки <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.078	З-ПК-2.3[1] - Знать: экспериментальные методики определения нейтронно-физических и теплогидравлических параметров; У-ПК-2.3[1] - Уметь: сделать выбор методики и аппаратуры для решения конкретной нейтронно-физической и теплогидравлической задачи; сделать оценку достижимой точности результатов измерений с учетом влияющих факторов; ; В-ПК-2.3[1] - Владеть: методиками планирования и проведения экспериментов
Проведение расчетных исследований и измерений физических характеристик на экспериментальных стендах и установках	Атомный ледокольный флот Атомные электрические станции Плавучая АЭС Сфера научных	ПК-4 [1] - способен применять экспериментальные, теоретические и компьютерные методы исследований в профессиональной	З-ПК-4[1] - Знать экспериментальные, теоретические и компьютерные методы исследований в профессиональной области ;

	исследований в области ядерной физики и технологий	области <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.078	У-ПК-4[1] - Уметь применять экспериментальные, теоретические и компьютерные методы исследований в профессиональной области; В-ПК-4[1] - Владеть методами интерпретации (анализа) и презентации полученных результатов
--	--	---	--

4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

Направления/цели воспитания	Задачи воспитания (код)	Воспитательный потенциал дисциплин
-----------------------------	-------------------------	------------------------------------

5. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

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

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практ. (семинары) / Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
	<i>8 Семестр</i>						
1	Часть 1	1-8	8/0/24		25	КИ-8	3-ПК-12, У-ПК-12, В-ПК-12, 3-ПК-2.3, У-ПК-2.3, В-ПК-2.3,

							3-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4
2	Часть 2	9-15	7/0/21		25	КИ-15	3-ПК-12, У-ПК-12, В-ПК-12, 3-ПК-2.3, У-ПК-2.3, В-ПК-2.3, 3-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4
	<i>Итого за 8 Семестр</i>		15/0/45		50		
	Контрольные мероприятия за 8 Семестр				50	Э	3-ПК-12, У-ПК-12, В-ПК-12, 3-ПК-2.3, У-ПК-2.3, В-ПК-2.3, 3-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4

* – 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>8 Семестр</i>	15	0	45
1-8	Часть 1	8	0	24
1	Введение Реакторные эксперименты, проводимые в процессе создания и эксплуатации ядерных реакторов. Взаимосвязь экспериментов на стендах, исследовательских и энергетических реакторах. Необходимость измерений для безопасной и эффективной эксплуатации реакторных установок.	Всего аудиторных часов		
		1		3
		Онлайн		
2 - 4	Исследовательские реакторы Назначение, устройство и характеристики исследовательских реакторов. Устройства, используемые для экспериментов на исследовательских реакторах. Реакторы для физических исследований. Эксперименты на нейтронных пучках. Опыты с «холодными» и «ультрахолодными» нейтронами. Получение нейтронных импульсов путем прерывания нейтронного пучка. Стационарные исследовательские реакторы (примеры). Достижение максимального потока нейтронов. Реакторы для ресурсных испытаний образцов и устройств в радиационных полях. Устройство реакторных петель (на примере реактора МР-2). Реакторы для производства радиоизотопов. Устройство контейнеров для облучения мишеней (ампул). использование ловушки нейтронов для повышения плотности потока нейтронов на мишени. Применение поэтапного режима облучения. Примеры высокопоточных реакторов (СМ-2).	Всего аудиторных часов		
		3		10
		Онлайн		
5 - 7	Критстенды для интегральных реакторных экспериментов Преимущества экспериментов на реакторах нулевой мощности. Понятие о модельных и константных экспериментах, их особенности и назначения. Устройство критстендов: структура загрузок. используемые материалы. управление нейтронным полем.	Всего аудиторных часов		
		3		8
		Онлайн		

	Технологические погрешности результатов. Критстенды для экспериментов по физике тепловых реакторов, их устройство и особенности. Стенд ZR-6, его назначение. Измеряемые функционалы, методы определения погрешности результатов. Критстенды для экспериментов по физике быстрых реакторов. Материалы и структура сборок. Измеряемые функционалы. Экспериментальная система для измерения спектров нейтронов «по времени пролета». Влияние гетерогенной структуры сборок на получаемые результаты.			
8	Семестровый контроль Промежуточная проверка знаний студентов.	Всего аудиторных часов		
		1		3
		Онлайн		
9-15	Часть 2	7	0	21
9 - 11	Эксперименты на энергетических реакторах Промышленные эксперименты, их особенности. аппаратурные и методические ограничения. регламентация условий проведения, многофакторность. применяемые детекторные системы. СВРК, реактиметры. Эксперименты, проводимые при пусках реакторов ВВЭР. Различие экспериментов по определению коэффициентов реактивности на ВВЭР-440 и ВВЭР-1000. Измерения температурного коэффициента реактивности реактора ВВЭР-1000. Эксперименты, проводимые в процессе эксплуатации реакторов РБМК. Измеряемые величины, используемые детекторы и методы. Измерения парового коэффициента реактивности, погрешности результатов.	Всего аудиторных часов		
		3		9
		Онлайн		
12 - 16	Метрология в реакторном эксперименте 1. Необходимость метрологического обеспечения измерений. Методы, приборы, эталоны, внешние данные. Терминология и определения. 2. Метрология измерений нейтронных полей, процессов, материалов. Понятие качества измерений, его контроль. Неразрушающие и разрушающие методы измерений: особенности, преимущества и недостатки, применения. 3. Эталоны, стандартные образцы, градуировочные источники для обеспечения неразрушающих измерений. Физико-химические формы используемых материалов, способы приготовления, иерархия эталонов. Возможности минимизации потребности в эталонах. Пример СОП - плутониевые стандартные образцы предприятия завода РТ-1 ПО «Маяк». 4. Физико-химические методы и процедуры разрушающих измерений. Отбор представительной пробы, гомогенизации, очистка и выделение. Задачи, решаемые с помощью разрушающих измерений. 5. Метрологическая аттестация методик и их	Всего аудиторных часов		
		4		12
		Онлайн		

	документальное оформление. 6. Метрологические характеристики методик, применяемых на предприятиях отрасли.			
--	--	--	--	--

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 ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

Недели	Темы занятий / Содержание
	<i>8 Семестр</i>
1 - 8	Перечень лабораторных работ по курсу «Экспериментальная реакторная физика и метрология» Лабораторные работы на подкритических сборках: 1Р Экспериментальное определение материального параметра уран графитовой решетки 2Р Экспериментальное определение зависимости материального параметра от шага уран-водной решетки 5Р Моделирование загрузки активной зоны ядерного реактора и построение зависимости обратного умножения нейтронов от массы топлива, загруженного в активную зону ядерного реактора 6Р Моделирование процедуры определения реактивности, вводимой стержнями регулирования посредством измерения установившегося периода изменения плотности нейтронов в ядерном реакторе 7Р Моделирование процедуры определения реактивности, вводимой стержнями регулирования (дифференциальный метод сброса стержня) 8Р Моделирование процедуры определения реактивности, вводимой стержнями регулирования (интегральный метод сброса стержня) Студенты разбиваются на группы и работают по подготовленному преподавателем семестровому плану.
9 - 16	Перечень лабораторных работ по курсу «Экспериментальная реакторная физика и метрология»

	Лабораторные работы на подкритических сборках: 1Р Экспериментальное определение материального параметра уран графитовой решетки 2Р Экспериментальное определение зависимости материального параметра от шага уран-водной решетки 5Р Моделирование загрузки активной зоны ядерного реактора и построение зависимости обратного умножения нейтронов от массы топлива, загруженного в активную зону ядерного реактора 6Р Моделирование процедуры определения реактивности, вводимой стержнями регулирования посредством измерения установившегося периода изменения плотности нейтронов в ядерном реакторе 7Р Моделирование процедуры определения реактивности, вводимой стержнями регулирования (дифференциальный метод сброса стержня) 8Р Моделирование процедуры определения реактивности, вводимой стержнями регулирования (интегральный метод сброса стержня) Студенты разбиваются на группы и работают по подготовленному преподавателем семестровому плану.
--	---

6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Курс предусматривает 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 с применением электронных ресурсов, информационных и мультимедийных технологий.

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-12	З-ПК-12	Э, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-12	Э, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-12	Э, КИ-8, КИ-15
ПК-2.3	З-ПК-2.3	Э, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-2.3	Э, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-2.3	Э, КИ-8, КИ-15
ПК-4	З-ПК-4	Э, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-4	Э, КИ-8, КИ-15

	В-ПК-4	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 – «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.

Оценочные средства приведены в Приложении.

8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ П81 Метрология, стандартизация и сертификация в атомной отрасли : монография, Москва: НИЯУ МИФИ, 2014
2. 621.039 Б94 Экспериментальная реакторная физика : учебное пособие для вузов, А. В. Бушуев, Москва: МИФИ, 2008
3. ЭИ Б94 Экспериментальная реакторная физика : учебное пособие для вузов, А. В. Бушуев, Москва: МИФИ, 2008
4. 621.039 С50 Нейтронно-физические процессы в размножающих средах : лабораторный практикум, В. Е. Смирнов, Москва: МИФИ, 2008
5. ЭИ С50 Нейтронно-физические процессы в размножающих средах : лабораторный практикум, В. Е. Смирнов, Москва: МИФИ, 2008

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 539.1 К58 Детектирование нейтронов : лабораторный практикум, А. Ф. Кожин, В. Е. Смирнов, М.: МИФИ, 2004

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

1. JANIS 4.0 (31 корпус, Л-201, Л-202, Л-204, Л-211)

LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

1. Сайт Всемирной ядерной ассоциации (<http://world-nuclear.org>)
2. Сборник книг на официального сайта МАГАТЭ (<http://www-pub.iaea.org/books/>)
<https://online.mephi.ru/>
<http://library.mephi.ru/>

9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

1. УВ-1 ()
2. УВ-2 (Л-105)
3. УВПШ (Л-105)
4. УГ (Л-105а)
5. Индикаторы (Л-105)

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.

В течение семестра студент самостоятельно готовится к выполнению лабораторных работ. Изучает теоретическое введение к лабораторной работе и порядок её выполнения.

Самостоятельно оформляет отчет по проделанной лабораторной работе и готовится к защите работы, прорабатывая теоретический материал и контрольные вопросы, изложенные в описании лабораторного практикума в конце каждой работы.

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):

Бушуев Анатолий Васильевич, д.ф.-м.н., профессор