

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**  
**НЕЙТРОННЫЕ ЭФФЕКТИВНЫЕ СЕЧЕНИЯ И ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ДАННЫХ**

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**

Учебная дисциплина включает в себя:

1. Последовательное изложение современных представлений о физике взаимодействия нейтронов с ядерной материей в объеме, необходимом для будущей профессиональной деятельности.
2. Ознакомление студентов с элементами квантово-механического аппарата, который используется для объяснения закономерностей и особенностей взаимодействия нейтронов с ядрами.
3. Ознакомление студентов с системами библиотек нейтронных и ядерно-физических данных и приобретение навыков работы с библиотеками.

### **1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Цель освоения учебной дисциплины состоит в том, чтобы дать студентам, специализирующимся в области физики реакторов, фундаментальные знания о квантово-механическом взаимодействии нейтронов с ядрами, о закономерностях этого взаимодействия, которые лежат в основе формирования полей нейтронов, а также определяют критичность и ядерную безопасность ядерных энергетических установок различного назначения. Дать студентам представление о современном состоянии технологии подготовки ядерных констант для расчетов ядерных энергетических установок на базе использования файлов оцененных нейтронно-ядерных данных о свойствах нуклидов.

Задачи изучения дисциплины состоят в том, чтобы подготовить будущих выпускников к самостоятельному решению вопросов, связанных с развитием технологии подготовки ядерных констант для расчета переноса нейтронов в различных средах, при планировании и обчете экспериментов, при разработке новых усовершенствованных ядерных энергетических установок, по обеспечению их ядерной безопасности.

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

Для изучения дисциплины необходимы знания и навыки, сформированные у обучающихся в результате освоения дисциплин: «Высшая математика», «Аналитическая геометрия», «Линейная алгебра», «Математический анализ», «Обыкновенные дифференциальные уравнения», «Теория функций комплексного переменного», «Уравнения математической физики», «Теоретическая физика», «Теоретические основы нейтронно-ядерных процессов: ядерная физика», «Теоретические основы нейтронно-ядерных процессов: физическая теория реакторов».

Знание данной дисциплины необходимо при выполнении курсового и дипломного проектирования, научно-исследовательской работы.

### **3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ**

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
--------------------------------	--

Профессиональные компетенции в соответствии с задачами и объектами (областями знаний) профессиональной деятельности:

Задача профессиональной деятельности (ЗПД)	Объект или область знания	Код и наименование профессиональной компетенции; Основание (профессиональный стандарт-ПС, анализ опыта)	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции
научно-исследовательский			
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
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-2 [1] - способен к созданию новых методов расчета современных реакторных установок и физических устройств, методов исследования теплофизических процессов и свойств реакторных материалов и теплоносителей; разработке новых	З-ПК-2[1] - Знать методы исследования и расчета процессов, происходящих в реакторных установках ; У-ПК-2[1] - Уметь рассчитывать и проводить исследования процессов, протекающих в

		<p>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>реакторных установках ; В-ПК-2[1] - Владеть навыками применения информационных технологий при разработке новых установок, материалов и приборов</p>
<p>Проведение расчетных исследований и измерений физических характеристик на экспериментальных стендах и установках</p>	<p>Атомный ледокольный флот Атомные электрические станции Плавучая АЭС Сфера научных исследований в области ядерной физики и технологий</p>	<p>ПК-2.1 [1] - Способен использовать современные численные методы и профессиональные расчетные пакеты прикладных программ</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.078</p>	<p>З-ПК-2.1[1] - Знать: возможности использования информационных технологий, методы численного анализа, методы определения проблемы и оценки полученных результатов для математического моделирования и анализа теплофизических и нейтронно-физических процессов с применением компьютерных кодов. ; У-ПК-2.1[1] - Уметь: использовать специальные программные обеспечения для решения нейтронно-физических задач, применяя современные экспериментальные, теоретические и компьютерные методы исследований ; В-ПК-2.1[1] - Владеть: навыками работы с современными программными средствами для обеспечения безопасности ядерных установок и материалов</p>
<p>Проведение расчетных</p>	<p>Атомный</p>	<p>ПК-2.2 [1] - способен</p>	<p>З-ПК-2.2[1] - Знать:</p>

<p>исследований и измерений физических характеристик на экспериментальных стендах и установках</p>	<p>ледокольный флот Атомные электрические станции Плавучая АЭС Сфера научных исследований в области ядерной физики и технологий</p>	<p>совершенствовать методы физического и математического моделирования ядерно-физических установок</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.078</p>	<p>современные методы для решения задач описания физических процессов в ядерных реакторах, методы моделирования нейтронно-физических процессов и методы теории возмущений, способы представления нейтронных эффективных сечений ; У-ПК-2.2[1] - Уметь: проводить анализ недостатков применения существующих методов и разрабатывать способы их нивелирования; В-ПК-2.2[1] - Владеть: навыками работы с современными языками программирования для автоматизации информационного процесса анализа данных</p>
<p>Проведение расчетных исследований и измерений физических характеристик на экспериментальных стендах и установках</p>	<p>Атомный ледокольный флот Атомные электрические станции Плавучая АЭС Сфера научных исследований в области ядерной физики и технологий</p>	<p>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</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.078</p>	<p>З-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;</p>

			В-ПК-3[1] - Владеть навыками анализа, синтеза и нахождения закономерностей при обработке экспериментальных данных
--	--	--	---

#### 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>9 Семестр</i>						
1	Часть 1	1-8	8/16/0		25	КИ-8	3-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, 3-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2, 3-ПК-2.1, У-ПК-2.1, В-ПК-2.1, 3-ПК-2.2, У-

							ПК-2.2, В-ПК-2.2, 3-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3
2	Часть 2	9-16	8/16/0		25	КИ-16	3-ПК-2.1, У-ПК-2.1, В-ПК-2.1, 3-ПК-2.2, У-ПК-2.2, В-ПК-2.2
	<i>Итого за 9 Семестр</i>		16/32/0		50		
	<b>Контрольные мероприятия за 9 Семестр</b>				50	Э	3-ПК-2.1, У-ПК-2.1, В-ПК-2.1, 3-ПК-2.2, У-ПК-2.2, В-ПК-2.2

\* – сокращенное наименование формы контроля

\*\* – сумма максимальных баллов должна быть равна 100 за семестр, включая зачет и (или) экзамен

Сокращение наименований форм текущего контроля и аттестации разделов:

Обозначение	Полное наименование
-------------	---------------------

КИ	Контроль по итогам
Э	Экзамен

### КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недел и	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем. , час.	Лаб., час.
	<i>9 Семестр</i>	16	32	0
<b>1-8</b>	<b>Часть 1</b>	8	16	0
1	<b>История развития нейтронной физики.</b> Открытие нейтрона. Его свойства. Применение нейтронов.	Всего аудиторных часов		
		4	9	0
		Онлайн		
		0	0	0
2 - 3	<b>Сечение взаимодействия нейтронов с ядрами.</b> Определение величины сечения взаимодействия нейтронов с ядрами. Дуализм корпускулярных и волновых свойств нейтрона. Формулировка задачи для определения сечения взаимодействия нейтрона с ядром.	Всего аудиторных часов		
		0	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
4 - 10	<b>Упругое рассеяние нейтронов ядрами.</b> Резонансное и потенциальное рассеяние. Проявление интерференции в сечении рассеяния. Рассеяние нейтронов различных энергий.	Всего аудиторных часов		
		4	3	0
		Онлайн		
		0	0	0
<b>9-16</b>	<b>Часть 2</b>	8	16	0
11	<b>Поглощение нейтронов ядрами.</b> Формирование сечения поглощения в области резонансных и медленных нейтронов. Закон "1/v".	Всего аудиторных часов		
		4	9	0
		Онлайн		
		0	0	0
12	<b>Влияние спинов нейтрона и ядра на характер взаимодействия.</b> Учет влияния спинов нейтрона и ядра на сечение взаимодействия. Формирование сечения неупругого рассеяния.	Всего аудиторных часов		
		0	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
13	<b>Взаимодействие нейтронов с упорядоченной структурой ядер.</b> Влияние кристаллической структуры материалов на рассеяние медленных нейтронов. Взаимодействие нейтронов с ядрами, приводящее к нарушению структуры материалов.	Всего аудиторных часов		
		4	3	0
		Онлайн		
		0	0	0
14 - 16	<b>Представление нейтронно-ядерных данных. Библиотеки ядерных данных.</b> Оценка ядерных данных и их представление. Схема получения проблемно-ориентированных мало групповых библиотек. Структура ENDF - библиотек. Описание ENDF - форматов.	Всего аудиторных часов		
		0	0	0
		Онлайн		
		0	0	0

Сокращенные наименования онлайн опций:

Обозна чение	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

При реализации программы дисциплины проводятся лекционные и практические занятия. Самостоятельная работа студентов подразумевает под собой проработку лекционного материала с использованием рекомендуемой литературы для подготовки к выполнению практических заданий.

## 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	КИ-8
	У-ПК-1	КИ-8
	В-ПК-1	КИ-8
ПК-2	З-ПК-2	КИ-8
	У-ПК-2	КИ-8
	В-ПК-2	КИ-8
ПК-2.1	З-ПК-2.1	Э, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-2.1	Э, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-2.1	Э, КИ-8, КИ-16
ПК-2.2	З-ПК-2.2	Э, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-2.2	Э, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-2.2	Э, КИ-8, КИ-16
ПК-3	З-ПК-3	КИ-8
	У-ПК-3	КИ-8
	В-ПК-3	КИ-8

## 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 C12 Физическая теория ядерных реакторов Ч.1 Однородная размножающая среда и теория гетерогенных структур, , : МИФИ, 2007

4. ЭИ К85 Теория переноса нейтронов : учебное пособие для вузов, Э. Ф. Крючков, Л. Н. Юрова, Москва: МИФИ, 2007

#### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ С12 Физическая теория ядерных реакторов Ч.2 Теория возмущений и медленные нестационарные процессы, Москва: НИЯУ МИФИ, 2013
2. 621.039 С12 Физическая теория ядерных реакторов Ч.2 Теория возмущений и медленные нестационарные процессы, Москва: НИЯУ МИФИ, 2013
3. 621.039 С12 Физическая теория ядерных реакторов Ч.1 Однородная размножающая среда и теория гетерогенных структур, , : МИФИ, 2007
4. 539.1 Ф85 Субатомная физика : , Г. Фрауэнфельдер, Э. М. Хенли, М.: Мир, 1979
5. 539.6 Б42 Нейтронная физика : , К. Г. Бекурц, К. Виртц, М.: Атомиздат, 1968
6. 539.6 В58 Нейтроны : , Н.А. Власов, М.: Наука, 1971

#### 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 необходимо твердо усвоить базовые понятия курса: квантовый характер взаимодействий микрочастиц с атомами и ядрами, корпускулярно-волновой дуализм проявления их свойств при взаимодействии.

Необходимо владеть информацией об основных закономерностях квантовых переходов ядер при возбуждении и снятии возбуждения. Важно понимание процессов, протекающих при взаимодействии нейтрона с ядром в модели Н.Бора.

Необходимо уметь оценивать параметры, определяющие характер взаимодействия при нарушении структуры материалов и накопления повреждающей дозы..

Необходимо знать принципиальные различия в поведении нейтронов низких энергий при взаимодействии с коллективом ядер одновременно.

Надо научиться использовать данные библиотек ядерных данных для оценки изменения нуклидного состава материалов в поле облучения и накопления продуктов цепочек распада.

## 11. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

Для начала необходимо ознакомить студентов с базовыми понятиями, которые потребуются в курсе «Нейтронные эффективные сечения и представление данных»: дуализм корпускулярно-волновых свойств частиц микромира, характер взаимодействий микрочастиц с материей, особенности математического аппарата для описания взаимодействий.

Далее необходимо описать нейтрон как элементарную частицу, нестабильную, участвующую в сильном, электромагнитном, гравитационном и слабом взаимодействии.

Следующим шагом целесообразно в упрощенном рассмотрении разобрать задачу описания взаимодействия нейтрона с плоским одномерным потенциалом ядра. Упрощенное одномерное уравнение Шредингера позволяет в замкнутом виде получить решение в аналитическом виде и оценить вероятность пропускания и отражения нейтрона потенциалом ядра. Тем самым демонстрируется корпускулярно-волновой дуализм взаимодействия.

Следующим шагом должен быть переход к трехмерной сферической геометрии задачи взаимодействия нейтрона с потенциалом ядра. Предположив сферическую геометрию потенциала ядра удастся в аналитическом виде получить решение для волновой функции и сформулировать условия сшивки на поверхности ядра.

Рассматривая различные условия сшивки, необходимо получить практически в аналитическом виде закономерности потенциального и резонансного взаимодействия нейтрона с ядром.

Важным случаем рассмотрения является взаимодействие, приводящее к нарушению структуры материалов, и демонстрация, каким образом формируется сечение повреждения и оценка числа смещений на атом.

Для экспериментальной нейтронной физики важно понимание об особенностях взаимодействия холодных нейтронов с веществом и уже приобретенный в настоящем курсе опыт использования квантово-механического математического аппарата позволяет выявить особенности взаимодействия холодных нейтронов с ансамблем ядер одновременно.

На заключительном этапе демонстрируется реализация основных закономерностей взаимодействия нейтронов с ядрами в современных библиотеках ядерных данных.

Автор(ы):

Шмелёв Анатолий Николаевич, д.т.н., профессор