

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Лунин Сергей Владимирович

Должность: Руководитель СФТИ НИЯУ МИФИ

Дата подписания: 13.10.2023 14:44:13

Уникальный программный ключ:

d85fa2f259a0913da9b08299985891756420181f

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

**Снежинский физико-технический институт –**  
филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
**(СФТИ НИЯУ МИФИ)**

«УТВЕРЖДАЮ»

Зам. руководителя по учебной  
и научно-методической работе

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2022 г.

\_\_\_\_\_ П.О.Румянцев

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

### Ядерные реакторы

Код и направление подготовки (специальность) 14.03.02 «Ядерная физика и технологии»

Профиль подготовки (специализация) «Физика атомного ядра и частиц»

Квалификация (степень) выпускника бакалавр

Форма обучения очная

Снежинск 2022 г.

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

Целью освоения учебной дисциплины Ядерные реакторы является усвоение основных положений физики ядерных реакторов, более узко – физики импульсных ядерных реакторов, в том числе: общие свойства ядерных реакторов, разновидности ядерных реакторов, обзор конструкций импульсных ядерных реакторов, критмассовые характеристики, кинетика и динамика реактора, различные типы обратной связи по реактивности, вероятностный характер импульсов делений при слабом источнике нейтронов, связанные импульсные реакторы.

Задача изучения дисциплины «Ядерные реакторы» – получение навыков выполнения оценок характеристик нейтронного поля и поля гамма-квантов от ядерного реактора.

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

Дисциплина "Ядерные реакторы" относится к части «Дисциплины по выбору» блока Б1 (Б1.В.ДВ.08.01) ООП ВО 14.03.02 «Ядерные физика и технологии» и является частью профессионального модуля. Курс «Ядерные реакторы» посвящен одному из больших разделов современной физики, без изучения которого невозможна качественная подготовка инженеров-физиков. «Ядерные реакторы» изучается на четвертом курсе в седьмом семестре обучения.

Перечень дисциплин, усвоение которых студентами необходимо для изучения данной дисциплины:

2.1. Общие курсы физики и математики в объеме средней школы.

2.2. Курс нейтронной физики.

## **3. КОМПЕТЕНЦИИ СТУДЕНТА, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ / ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАЗОВАНИЯ И КОМПЕТЕНЦИИ СТУДЕНТА ПО ЗАВЕРШЕНИИ ОСВОЕНИЯ ПРОГРАММЫ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Компетентностная модель соответствует требованиям ОС ВО НИЯУ МИФИ по специальности 14.03.02 «Ядерные физика и технологии».

Данная дисциплина способствует формированию следующих компетенций, предусмотренных ООП ВО по направлению подготовки 14.03.02 «Ядерные физика и технологии»:

ОПК-1 – умение использовать базовые знания естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования.

ПК-1 – способность использовать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования, современные компьютерные технологии и информационные ресурсы в своей предметной области.

ПК-3 – способность проводить физические эксперименты по заданной методике, составлять описания проводимых исследований, отчетов, анализу результатов и подготовке научных публикаций.

ПК-6 – способность к контролю соблюдения технологической дисциплины и обслуживания оборудования.

ПК-19.1 – готовность разрабатывать способы применения ядерно-энергетических установок, электронных, нейтронных и протонных пучков, методов экспериментальной физики в решении технических, технологических и медицинских проблем.

В результате освоения дисциплины студенты должны:

**Знать:**

31. Общие свойства ядерных реакторов, разновидности ядерных реакторов, обзор конструкций импульсных ядерных реакторов;
32. Критмассовые характеристики, кинетика и динамика реактора;
33. Различные типы обратной связи по реактивности, вероятностный характер импульсов делений при слабом источнике нейтронов;
34. Физику связанных импульсных реакторов.

**Уметь:**

- У1. Применять полученные знания при эксплуатации современного физического оборудования и приборов;
- У2. Использовать технические средства для измерения основных параметров объектов исследования на ядерных реакторах;
- У3. Проводить физические эксперименты по заданной методике, составлять описания проводимых исследований и анализ результатов.

**Владеть:**

- В1. Навыками публичной речи, аргументации, ведения дискуссии;
- В2. Программным обеспечением для работы с физической и технической информацией и основами Интернет – технологий.

**4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Семестр	Трудоемкость, кредит	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Экз., час.	СРС, час.	Форма контроля, Экз./зачет
7	3	108	36	36	27	9	экзамен

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 кредитов, 180 часов.

№ п/п	Раздел учебной дисциплины	Недели	Виды учебной деятельности, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)			Текущий контроль успеваемости (неделя, форма)	Аттестация раздела (неделя, форма)	Макс. балл за раздел*
			Лекции	Практ. занятия/семинары	Лаб. работы			
<b>7 семестр</b>								
1	Введение в физику импульсных ядерных	1	2	2		конспект лекции		1

	реакторов (ИЯР)							
2	Введение в физику импульсных ядерных реакторов (ИЯР) (окончание) Общие вопросы физики ядерных реакторов	2	2	2		конспект лекции		1
3	Обзор конструкций ИЯР различных типов	3	2	2		конспект лекции		1
4	Источники излучений в ИЯР	4	2	2		ДЗ, конспект лекции		3
5	Характеристики реактора в критическом состоянии	5	2	2		конспект лекции	5 неделя Контр. работа	7
6	Уравнения кинетики реактора в односточном приближении. Методы измерения реакторных характеристик	6	2	2		ДЗ, конспект лекции		3
7	Методы измерения реакторных характеристик (продолжение)	7	2	2		ДЗ, конспект лекции		3
8	Методы измерения реакторных характеристик (окончание)	8	2	2		ДЗ, конспект лекции		3
9	Обратная связь по реактивности. Импульсный реактор с квазистатической обратной связью	9	2	2		ДЗ, конспект лекции		3
10	Импульсный реактор с квазистатической обратной связью (окончание)	10	2	2		конспект лекции	10 неделя Контр. работа	7
11	Кинетика реактора при слабом источнике нейтронов	11	2	2		ДЗ, конспект лекции		3
12	Импульсы делений в условиях теплового удара	12	2	2		ДЗ, конспект лекции		3
13	Динамика растворных ИЯР	13	2	2		ДЗ, конспект лекции		3
14	Кинетика реактора с отражателем.	14	2	2		ДЗ, конспект лекции		3
15	Связанные ИЯР	15	2	2			15 неделя Контр. работа	6
16	Решение и сдача ДЗ	16	2	2				
17	Разбор и сдача ДЗ	17	2	2				
18	Итог. сдача ДЗ	18	2	2			18 неделя Итог. сдача ДЗ	
Всего:			36	36				50
Экзамен								50
Итого за 7 семестр:								100

## Программа дисциплины " Ядерные реакторы "

№пп	Раздел дисциплины
1	Введение в физику ИЯР. Краткая история ИЯР.
2	Общие вопросы физики ядерных реакторов. Ядерное топливо и сырьевые материалы. Самоподдерживающаяся цепная реакция деления ядер. Принцип работы и назначение ядерного реактора. Энергетические ядерные реакторы. Исследовательские ядерные реакторы. Исследовательские импульсные ядерные реакторы. О проектировании ИЯР и расчете его характеристик.
3	Обзор конструкций ИЯР различных типов. Особенности быстрых ИРСД с АЗ на основе металлического высокообогащенного урана и его сплавов. Быстрые импульсные реакторы США, России, связанные быстрые ИЯР. Растворные ИЯР. Бассейновые реакторы типа TRIGA. Уран–графитовые реакторы на тепловых нейтронах. Импульсные реакторы периодического действия.
4	Источники излучений в ИЯР. Выделение энергии в АЗ реактора. Нейтронное излучение при делении тяжелых ядер. Гамма–излучение при делении тяжелых ядер. Нейтроны, образующиеся при спонтанных делениях тяжелых ядер и в $(\alpha, n)$ –реакциях.
5	Характеристики реактора в критическом состоянии. Условно–критическая задача. Критические размеры и плотность потока нейтронов. Теория малых возмущений. Зависимость эффективного коэффициента размножения от размеров реактора и плотности материала. Критические параметры систем с ДМ.
6	Уравнения кинетики реактора в одноточечном приближении. Нестационарные нейтронные процессы в реакторе вблизи критического состояния. Время жизни поколения мгновенных нейтронов. Уравнения кинетики реактора в одноточечном приближении. Условия применимости одноточечного приближения. Приближенные формы уравнений кинетики.
7	Методы измерения реакторных характеристик. Метод коэффициента умножения нейтронов. Метод асимптотического периода. Метод постоянной спада мгновенных нейтронов.
8	Обратная связь по реактивности. Квазистатическая обратная связь. Обратная связь при тепловом расширении АЗ. Обратная связь, обусловленная нагреванием нейтронного газа.
9	Импульсный реактор с квазистатической обратной связью. Интегральные параметры импульсов делений на мгновенных нейтронах в режиме скачка реактивности. Форма импульса делений на мгновенных нейтронах в реакторе с квазистатической обратной связью. Особенности импульсов делений, обусловленные запаздывающими нейтронами. О регулирующих элементах реактора и режимах генерирования импульсов делений. Интенсивность делений в реакторе при переходе через состояние мгновенной критичности. Интегральные параметры импульсов делений в режиме "с мощности". О тепловом режиме реактора, работающего на стационарной мощности.
10	Кинетика реактора при слабом источнике нейтронов. Вероятность возникновения устойчивой цепи делений. Критерий сильного источника нейтронов. Влияние запаздывающих нейтронов на установление устойчивой цепи делений в надкритическом реакторе. Энерговыведение в реакторе со слабым источником нейтронов.
11	Импульсы делений в условиях теплового удара. Уравнения термоупругости в приближении тонких оболочек. Уравнения

	динамики и обратная связь по реактивности в быстром ИЯР в условиях теплового удара. Параметры импульсов делений в быстром ИЯР в условиях теплового удара. Оценка напряжений в деталях АЗ быстрого ИЯР при тепловом ударе.
12	Динамика растворных ИЯР. Физические особенности и технологические системы растворных ИЯР. Интегральные параметры импульсов делений. Кинетическая энергия топливного раствора. Удар топливного раствора в крышку корпуса.
13	Кинетика реактора с отражателем. Уравнения кинетики реактора с отражателем. Реактор с "быстрым" отражателем. Реактор с "медленным" отражателем.
14	Связанные ИЯР. Уравнения кинетики и критичности для системы двух связанных реакторов. Уравнение "обратных часов" для двух реакторов. Сильно связанные импульсные реакторы.

### Календарный план дисциплины "Ядерные реакторы"

№пп	Раздел дисциплины	Неделя	Вид занятий
1	Введение в физику ИЯР. Краткая история ИЯР.	1	Лекция
2	Общие вопросы физики ядерных реакторов.	1, 2	Лекция
3	Обзор конструкций ИЯР различных типов.	3	Лекция
4	Источники излучений в ИЯР.	4	Лекция/Семинар
5	Характеристики реактора в критическом состоянии.	5	Лекция/Семинар
6	Уравнения кинетики реактора в одноточечном приближении.	6	Лекция/Семинар
7	Методы измерения реакторных характеристик.	6, 7, 8	Лекция/Семинар
8	Обратная связь по реактивности.	9	Лекция/Семинар
9	Импульсный реактор с квазистатической обратной связью.	9, 10	Лекция/Семинар
10	Кинетика реактора при слабом источнике нейтронов.	11	Лекция/Семинар
11	Импульсы делений в условиях теплового удара.	12	Лекция/Семинар
12	Динамика растворных ИЯР.	13	Лекция/Семинар
13	Кинетика реактора с отражателем.	14	Лекция/Семинар
14	Связанные ИЯР.	15	Лекция/Семинар

### Планы семинарских занятий по дисциплине "Ядерные реакторы"

№пп	Раздел дисциплины	Неделя	Вид занятий
1	Оценка источников нейтронов в реакторе после импульса делений (запаздывающие нейтроны, альфа- и гамма-индуцированные реакции).	4	Семинар
2	Оценка критических масс, размеров и пространственного распределения плотности делений в активной зоне реактора.	6, 7	Семинар
3	Оценка эффективностей обратных связей и	8,9	Семинар

	регулирующих элементов реактора.		
4	Оценка вероятности самоиницирования надкритического реактора.	11	Семинар
5	Оценка полей гамма-нейтронного излучений за пределами активной зоны реактора.	12, 13, 14	Семинар
6	Контрольная работа № 1	5	КР
7	Контрольная работа № 2	10	КР
8	Контрольная работа № 3	15	КР

## 5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

При реализации различных видов учебной работы в рамках курса предусмотрено использование следующих образовательных технологий:

1. Лекции проводятся с применением мультимедийных средств обучения в виде презентации PowerPoint, с целью в наиболее сжатом концентрированном виде сделать обзор пройденного материала с указанием взаимосвязи между разделами дисциплины, освещением основных изученных подразделов, а также для формирования у студентов общего представления о месте дисциплины в общем перечне дисциплин ООП ВО 14.03.02 «Ядерные физика и технологии» и о формируемых этой дисциплиной компетенциях.

2. На практических занятиях, главным образом, изучаются методы оценок и расчетов реакторных характеристик и полей излучений.

Для закрепления лекционного и практического материала предлагаются задачи, решение которых предполагается в рамках самостоятельной работы студентов.

3. Домашние задания выдаются преподавателем студентам на каждом практическом занятии. Задание представляет собой номера задач и упражнений из сборника задач [А.В. Лукин Сборник задач по физике импульсных ядерных реакторов. Методическое пособие по специальности 14.03.02 "Ядерные физика и технологии". Снежинск: СФТИ НИЯУ МИФИ. – 2015 г.]. Содержанием домашнего задания является решение задач студентом и краткое выступление в аудитории с изложением полученного решения. Тематика задач направлена, в основном, на закрепление пройденного материала. Домашние задания сдаются преподавателю на проверку. Защита домашних заданий предусмотрена на 17-18 учебной неделе семестра. Приём заданий возможен как в рукописном, так и в печатном виде.

## 6. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ.

Часы на самостоятельную работу распределяются равномерно на весь курс обучения. Разделы, выводимые на самостоятельное изучение в рамках лекционных и практических разделов, устанавливаются преподавателем на каждой неделе, в зависимости от скорости усвоения материала студентами. Темы для самостоятельного

изучения оглашаются преподавателем в конце лекции и заносятся студентами в график самостоятельной работы.

Текущий контроль успеваемости проводится посредством проверки наличия конспекта лекции.

Экзамен проводится в традиционной форме – по билетам. Каждый билет содержит два теоретических вопроса и одно практическое задание из учебного пособия А.В. Лукина «Задачи по физике импульсных ядерных реакторов».

## **7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Основная литература:**

1. А.В. Лукин. Физика импульсных ядерных реакторов. Снежинск. Изд-во РФЯЦ-ВНИИТФ, 2006. 528 с.

2. А.В. Лукин Сборник задач по физике импульсных ядерных реакторов. Методическое пособие по специальности 072700 "Физика атомного ядра и частиц". Снежинск. СГФТА. 2007 г. — 28 с.

3. А.В. Лукин Сборник задач по физике нейтронов и импульсных ядерных реакторов. Методическое пособие по специальности 072700 "Физика атомного ядра и частиц". Снежинск. СГФТА. 2007 г. — 36 с.

4. Леваков Б.Г., Лукин А.В., Магда Э.П., Погребов И.С., Снопков А.А., Терехин В.А. Импульсные ядерные реакторы РФЯЦ–ВНИИТФ. Под ред. А.В.Лукина. — Снежинск. Изд-во РФЯЦ–ВНИИТФ, 2002. — 608 с.

5. Шабалин Е.П. Импульсные реакторы на быстрых нейтронах. — М. Атомиздат, 1976. — 248 с.

6. Бать Г.А., Коченов А.С., Кабанов Л.П. Исследовательские ядерные реакторы. — М. Энергоатомиздат, 1985. — 280 с.

7. Кипин Дж.Р. Физические основы кинетики ядерных реакторов / Пер. с англ. — М.: Атомиздат, 1967. — 428 с.

### **Дополнительная литература:**

8. Динамика ядерных реакторов. Под ред. Я.В. Шевелева. — М. Энергоатомиздат, 1990. — 518 с.

9. Хетрик Д. Динамика ядерных реакторов. Пер. с англ. — М.: Атомиздат, 1975. — 400 с.

10. Белл Д., Глестон С. Теория ядерных реакторов. Пер. с англ. Под ред. В.Н. Артамкина. — М. Атомиздат, 1974. — 496 с.

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

<http://www.ph4s.ru>, раздел Математика, электронный курс по математическому анализу «Дифференциальное исчисление», разработанный кафедрой ВМ НИЯУ МИФИ: <http://80.250.160.82/index.php>.

## **8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Мультимедийная аудитория (Л-315). Компьютерный класс, оснащённый компьютерами с выходом в Интернет, а также принтером, сканером, ксероксом:



- Core Dual 2,4 МГц (2009 г.) - 15 шт.
- Принтер HP LJ P3005 DN (2009 г.) - 1 шт.
- Сканер HP SJ 4370 – 1 шт.
- Ноутбук Samsung (2008)
- Проектор ACER X1260 (2008)

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ВО НИЯУ МИФИ по направлению подготовки 14.03.02 «Ядерные физика и технологии».

Автор: \_\_\_\_\_ д.ф.-м.н., профессор Лукин А.В. \_\_\_\_\_

Рецензент \_\_\_\_\_ к.ф.-м.н., доцент, Хмельницкий Д.В. \_\_\_\_\_

Программа одобрена на заседании \_\_\_\_\_ кафедры Ядерной физики и спецтехнологий \_\_\_\_\_  
г., протокол № \_\_\_\_\_