

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
 Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
 «НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УТВЕРЖДАЮ

Директор ИЯТЦ

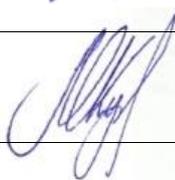
 (Долматов О.Ю.)  
 «01» сентября 2020 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**ПРИЕМ 2020 г.**  
**ФОРМА ОБУЧЕНИЯ очная**

**ФИЗИКА ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА**

Направление подготовки/ специальность	<b>14.03.02 Ядерные физика и технологии</b>		
Образовательная программа (направленность (профиль))	<b>Ядерные физика и технологии</b>		
Специализация	<b>Ядерные реакторы и энергетические установки</b>		
Уровень образования	высшее образование - бакалавриат		
Курс	4	семестр	7
Трудоемкость в кредитах (зачетных единицах)	6		
Виды учебной деятельности	Временной ресурс		
Контактная (аудиторная) работа, ч	Лекции	32	
	Практические занятия	24	
	Лабораторные занятия	32	
	ВСЕГО	88	
Самостоятельная работа, ч		128	
ИТОГО, ч		216	

Вид промежуточной аттестации	<b>Экзамен</b>	Обеспечивающее подразделение	<b>ОЯТЦ</b>
---------------------------------	----------------	---------------------------------	-------------

Заведующий кафедрой - руководитель отделения		А.Г. Горюнов
Руководитель ООП		П.Н. Бычков
Преподаватель		М.С. Кузнецов

2020г.

## 1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины является формирование у обучающихся определенного ООП (п. 5.4 Общей характеристики ООП) состава компетенций для подготовки к профессиональной деятельности.

Код компетенции	Наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенций		Составляющие результатов освоения (дескрипторы компетенции)	
		Код индикатора	Наименование индикатора достижения	Код	Наименование
ОПК(У)-1	Способен использовать базовые знания естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования	И.ОПК(У)-1.1.	Применяет математический аппарат исследования функций, линейной алгебры, дифференциального и интегрального исчисления, рядов, дифференциальных уравнений, теории функций комплексного переменного в инженерной деятельности	ОПК(У)-1.1В3	Владеет математическим аппаратом комплексного и операционного исчисления, дифференциальными уравнениями и рядами для проведения теоретического исследования и моделирования физических и химических процессов и явлений, а также, для решения профессиональных задач
		И.ОПК(У)-1.2.	Применяет математический аппарат уравнений в частных производных, уравнений теплопроводности и диффузии, уравнения Даламбера в инженерной деятельности	ОПК(У)-1.2В1	Владеет аппаратом математической физики для проведения теоретического исследования и моделирования физических и химических процессов и явлений, а также, для решения профессиональных задач.
				ОПК(У)-1.2У1	Умеет решать дифференциальные уравнения в частных производных, уравнений теплопроводности и диффузии, уравнения Даламбера
				ОПК(У)-1.2З1	Знает основные понятия, определения и методы теории дифференциальных уравнений в частных производных
ПК(У)-2	способностью проводить математическое моделирование процессов и объектов атомной отрасли с использованием стандартных методов и компьютерных кодов для проектирования и анализа	И.ПК(У)-2.5	Проводит математическое моделирование поведение нейтронов в различных средах, нейтронно-физических параметров ядерных установок различной формы и состава	ПК(У)-2.5В1	Владеет опытом подготовки ядерных констант, расчета параметров нейтронных полей, нейтронного цикла ядерного реактора
				ПК(У)-2.5У1	Умеет определять основные характеристики нейтронов, ядерных реакторов различных форм и составов, стержней управления и защиты
				ПК(У)-2.5З1	Знает основные понятия и положения теории переноса нейтронов в различных средах, основанные на изучении процессов взаимодействия нейтронов с ядрами, диффузии, замедления, термализации нейтронов, распределения плотностей потока нейтронов и методов описания этих процессов
ПК(У)-3	готовностью к проведению физических экспериментов по заданной методике, составлению описания проводимых экспериментов	И.ПК(У)-3.1	Проводит эксперименты по заданной методике, составление описания проводимых исследований и анализ результатов	ПК(У)-3.1В2	Владеет методами проведения измерений и исследований, обработки полученных результатов
				ПК(У)-3.1У2	Умеет проводить эксперимент по заданной методике в атомной отрасли, составлять описание проводимых исследований и проводить анализ результатов

Код компетенции	Наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенций		Составляющие результатов освоения (дескрипторы компетенции)	
		Код индикатора	Наименование индикатора достижения	Код	Наименование
	исследований и анализу полученных экспериментальных данных			ПК(У)-3.132	Знает методы экспериментального исследования физических процессов, создания экспериментальных установок
ПК(У)-7	способностью к расчету и проектированию деталей и узлов приборов и установок в соответствии с техническим заданием	И.ПК(У)-7.1	Проводит обоснованный выбор, расчет и проектирование деталей, узлов, и приборов ядерных энергетических установок различного целевого назначения	ПК(У)-7.1В6	Владеет опытом проведения поисковых исследований оптимальной конструкции ядерного реактора с учетом его материальных и геометрических особенностей, целевого назначения и особенностей эксплуатации
				ПК(У)-7.1У6	Умеет рассчитывать основные нейтронно-физические характеристики ядерных реакторов, характеристики стационарных и переходных процессов
				ПК(У)-7.136	Знает методы расчета и моделирования нейтронного цикла в ядерном реакторе, эффективного коэффициента размножения нейтронов, условия критичности, основы теории решетки, отравление и шлакование

## 2. Место дисциплины (модуля) в структуре ООП

Дисциплина относится к вариативной части Блока 1 учебного плана образовательной программы.

## 3. Планируемые результаты обучения по дисциплине

После успешного освоения дисциплины будут сформированы результаты обучения:

Планируемые результаты обучения по дисциплине		Индикатор достижения компетенции
Код	Наименование	
РД 1	Применять знания математического аппарата для описания и исследования основных процессов взаимодействия и распространения нейтронов в ядерных реакторах	И.ОПК(У)-1.1. И.ОПК(У)-1.2. И.ПК(У)-2.5
РД 2	Анализировать зависимости нейтронно-физических характеристик ядерного реактора от параметров, определяющих состав, структуру и физическое состояние активной зоны	И.ПК(У)-2.5 И.ПК(У)-7.1
РД 3	Применять экспериментальные методы определения критических параметров ядерных реакторов с корректной обработкой и интерпретацией полученных данных	И.ПК(У)-3.1

Оценочные мероприятия текущего контроля и промежуточной аттестации представлены в календарном рейтинг-плане дисциплины.

#### 4. Структура и содержание дисциплины

##### Основные виды учебной деятельности

Разделы дисциплины	Формируемый результат обучения по дисциплине	Виды учебной деятельности	Объем времени, ч.
Раздел 1. Взаимодействия нейтронов с веществом	РД1	Лекции	4
		Практические занятия	4
		Лабораторные занятия	0
		Самостоятельная работа	10
Раздел 2. Диффузия моноэнергетических нейтронов	РД1	Лекции	4
		Практические занятия	4
		Лабораторные занятия	4
		Самостоятельная работа	10
Раздел 3. Замедление нейтронов в бесконечных средах	РД1	Лекции	4
		Практические занятия	2
		Лабораторные занятия	4
		Самостоятельная работа	13
Раздел 4. Пространственно-энергетическое распределение нейтронов	РД 1	Лекции	4
		Практические занятия	6
	РД 2	Лабораторные занятия	8
		Самостоятельная работа	30
Раздел 5. Теория критических размеров	РД 1	Лекции	8
		Практические занятия	4
	РД 2	Лабораторные занятия	16
		РД 3	Самостоятельная работа
Раздел 6. Теория решетки	РД 1		Лекции
		Практические занятия	4
	РД 2	Лабораторные занятия	0
		РД 3	Самостоятельная работа

Содержание разделов дисциплины:

##### **Раздел 1. Взаимодействия нейтронов с веществом**

Свойства нейтронов. Микро– и макроскопические сечения взаимодействия нейтронов с ядрами. Классификация ядерных реакций под действием нейтронов. Взаимодействие быстрых, резонансных и тепловых нейтронов с ядрами. распределение резонансных и тепловых нейтронов по энергиям. Эффект Доплера.

##### **Темы лекций:**

1. Свойства нейтронов. Взаимодействие нейтронов с ядрами.
2. Дифференциальные и интегральные параметры нейтронных полей. Методы описания пространственно – энергетических распределений нейтронов. Особенности уравнений переноса. Интегральное уравнение.

##### **Темы практических занятий:**

1. Свойства нейтронов; взаимодействие быстрых и резонансных нейтронов с ядрами, взаимодействие тепловых нейтронов с ядрами
2. Параметры нейтронных полей и скорость взаимодействия нейтронов с ядрами

##### **Раздел 2. Диффузия моноэнергетических нейтронов**

Понятие о диффузии нейтронов. Плотность потока нейтронов. Скорость взаимодействия. Характерные длины пробега нейтронов. Плотность тока нейтронов. Уравнение диффузии. Граничные условия на границах двух сред и среды с вакуумом. Условия применимости диффузионного приближения. Интегральное уравнение для потока моноэнергетических нейтронов. Скорость взаимодействия в случае немонаэнергетических нейтронов. Длина диффузии. Время диффузии нейтрона в среде. ...

**Темы лекций:**

1. Общая характеристика диффузионных процессов. Основные понятия диффузионного приближения и соотношения между ними. Транспортные диффузионные параметры. Уравнение диффузии нейтронов. Диффузионная плотность тока нейтронов.
2. Условие применимости уравнения диффузии. Граничные условия. Решение уравнения диффузии для различных источников нейтронов. Принцип суперпозиции нейтронных источников. Длина диффузии.

**Темы практических занятий:**

1. Основные параметры теории диффузии. Решение уравнения диффузии. Граничные условия
2. Расчет диффузионных параметров реакторных материалов.

**Названия лабораторных работ:**

1. Определение коэффициента диффузионного отражения тепловых нейтронов от парафина.

**Раздел 3. Замедление нейтронов в бесконечных средах**

Рассеяние в лабораторной системе координат. Ступенька замедления. Закон рассеяния. Средняя логарифмическая потеря энергии при одном столкновении. Понятие латаргии. Энергетическое распределение замедляющихся нейтронов в бесконечных однородных средах. Замедление на водороде без поглощения и с поглощением. Вероятность избежать поглощения при замедлении. Замедление на тяжелых рассеивателях без поглощения и с поглощением. Эффективный резонансный интеграл поглощения.

**Темы лекций:**

1. Модель замедления. Закон рассеяния нейтронов. Потери энергии при рассеянии.
2. Замедление на легких и тяжелых ядрах. Эффективный резонансный интеграл.

**Темы практических занятий:**

1. Параметры замедления нейтронов.

**Названия лабораторных работ:**

1. Распределение плотностей тока и потока тепловых нейтронов в замедляющей среде с использованием газонаполненного детектора

**Раздел 4. Пространственно-энергетическое распределение нейтронов**

Модель непрерывного замедления. Уравнение возраста. Уравнение замедления в возрастном приближении. Возраст нейтронов. Площадь миграции нейтронов. Многогрупповое приближение. Групповые диффузионные уравнения. Термализация нейтронов. Температура нейтронного газа.

**Темы лекций:**

1. Уравнение возраста. Уравнение замедления в возрастном приближении. Возраст нейтронов.

2. Уравнение диффузии. Групповые диффузионные уравнения.

**Темы практических занятий:**

1. Решение уравнения диффузии для различных геометрий.
2. Подготовка многогрупповых констант. Решение многогрупповых уравнений.

**Названия лабораторных работ:**

1. Определение длины диффузии нейтронов в графите

**Раздел 5. Теория критических размеров**

Физическая классификация ядерных реакторов. Коэффициент размножения. Возможные представления цикла размножения нейтронов. Эффективный коэффициент размножения. Гомогенный реактор без отражателя. Уравнение реактора в диффузионно-возрастном приближении. Материальный параметр. Условие критичности реактора в диффузионно-возрастном приближении. Одногрупповое приближение. Геометрический параметр и распределение потока нейтронов по объему реактора. Гомогенный реактор с отражателем в одногрупповом и двухгрупповом приближении. Эффективная добавка. Многозонный реактор. Условие критичности двухзонного реактора с отражателем в одногрупповом приближении.

**Темы лекций:**

1. Эффективный коэффициент размножения в диффузионно-возрастном приближении. Анализ условия критичности. Материальный и геометрический параметры.
2. Расчет в одногрупповом диффузионном приближении реакторов различной формы – плоского, параллелепипеда, сферического, цилиндрического.
3. Роль отражателя. Реакторы различной формы в одногрупповом диффузионном приближении с отражателем. Эффективная добавка за счет отражателя.

**Темы практических занятий:**

1. Расчет параметров гомогенного реактора.
2. Коэффициент неравномерности нейтронного потока в гомогенном реакторе с отражателем и без него.

**Названия лабораторных работ:**

1. Метод экспоненциальной призмы

**Раздел 6. Теория решетки**

Физические особенности гетерогенного реактора. Классификация реакторных решеток. Основные предположения в теории решетки. Расчет коэффициентов формулы четырех сомножителей в разреженных и тесных решетках. Расчет длин диффузии и замедления в различных решетках. Зависимость материального параметра от отношения объемов замедлителя и топлива. Выбор оптимального варианта решетки.

**Темы лекций:**

1. Преимущества и недостатки гетерогенных систем. Типы решеток и их экспериментальное изучение. Коэффициент использования тепловых нейтронов.
2. Вероятность избежать резонансного захвата. Размножение на быстрых нейтронах. Расчет гетерогенного реактора методом гомогенизации.
3. Выбор оптимальных параметров при расчете реактора. Экспериментальное определение критических параметров.

## **Темы практических занятий:**

1. Особенности расчета параметров гетерогенных ядерных реакторов

## **5. Организация самостоятельной работы студентов**

Самостоятельная работа студентов при изучении дисциплины (модуля) предусмотрена в следующих видах и формах:

- Работа с лекционным материалом, поиск и обзор литературы и электронных источников информации по индивидуально заданной проблеме курса;
- Изучение тем, вынесенных на самостоятельную проработку;
- Выполнение домашних заданий, расчетно-графических работ и домашних контрольных работ;
- Подготовка к лабораторным работам, к практическим и семинарским занятиям;
- Анализ научных публикаций по заранее определенной преподавателем теме;
- Подготовка к оценивающим мероприятиям.

## **6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

### **6.1. Учебно-методическое обеспечение**

#### **Основная литература:**

1. Основы теории и методы расчета ядерных энергетических реакторов: учебное пособие / Г. Г. Бартоломей, Г. А. Бать, В. Д. Байбаков, М. С. Алтухов. — 3-е изд., перераб. и доп. — Екатеринбург: Юланд, 2016. — 512 с. — Текст: непосредственный.
2. Владимиров Владимир Иванович. Физика ядерных реакторов: практические задачи по их эксплуатации / В. И. Владимиров. — 5-е изд., перераб. и доп. — Москва: URSS, 2009. — 478 с.: ил. — Текст: непосредственный.
3. ВВЭР-1000: физические основы эксплуатации, ядерное топливо, безопасность / А. М. Афров, С. А. Андрушечко, В. Ф. Украинцев [и др.]. — Москва: Логос, 2006. — 488 с.: ил. — Текст: непосредственный.
4. Широков Сергей Васильевич. Физика ядерных реакторов: учебное пособие / С. В. Широков. — Минск: Вышэйшая школа, 2011. — 351 с.: ил. — Текст: непосредственный.

#### **Дополнительная литература:**

1. Красников П. В. Расчеты физических характеристик ядерных реакторов: учебное пособие / П. В. Красников, С. В. Столотнюк, Я. Д. Столотнюк. — Москва: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. — 95 с. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/58558> (дата обращения: 19.02.2020). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Копосов Е. Б. Кинетика ядерных реакторов: учебное пособие / Е. Б. Копосов. — Москва: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2015. — 115 с. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/103467> (дата обращения: 19.02.2020). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
3. Увакин М. А. Лабораторный практикум "Физическая теория ядерных реакторов: учебное пособие / М. А. Увакин, В. И. Савандер. — Москва: НИЯУ МИФИ, 2013. — 56 с. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/75781> (дата обращения: 19.02.2020). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

4. Бекман И. Н. Ядерные технологии: учебник для вузов / И. Н. Бекман. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва: Издательство Юрайт, 2020 — (Высшее образование). — Текст: электронный // ЭБС Юрайт: [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/426112> (дата обращения: 14.02.2020). - Режим доступа: для авториз. пользователей
5. Атомная энергия: теоретический и научно-технический журнал / Росатом; Ядерное общество России (ЯОР). — Москва: Атомная энергия, 1956-2017, 2019. — С 2019 г. журнал представлен в электронном виде. — Издается с 1956 г. — ежемесячно. — URL: [http://elibrary.ru/title\\_about.asp?id=7671](http://elibrary.ru/title_about.asp?id=7671) (дата обращения: 05.03.2020). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
6. Атомная техника за рубежом: научно-технический журнал / Росатом; Ядерное общество России (ЯОР). — Москва: Атомная энергия, 1956-2017, 2019-. — Издается с 1957 г. — ежемесячно. — URL: [https://elibrary.ru/title\\_about.asp?id=8414](https://elibrary.ru/title_about.asp?id=8414) (дата обращения: 05.03.2020). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
7. Известия вузов. Ядерная энергетика: научно-технический журнал / Министерство образования и науки РФ; Обнинский институт атомной энергетики; Национальный исследовательский ядерный университет "МИФИ". — Обнинск: НИЯУ "МИФИ", 1995-. — Издается с 1993 г. — 6 номеров в год. — URL: [https://elibrary.ru/title\\_about.asp?id=7822](https://elibrary.ru/title_about.asp?id=7822) (дата обращения: 05.03.2020). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

## 6.2. Информационное и программное обеспечение

1. Основы физики ядерных реакторов <https://www.edx.org/course/nuclear-reactor-physics-basics>
2. ГК «РОСАТОМ» - <https://www.rosatom.ru/>
3. Концерн «РОСЭНЕРГОАТОМ» - <https://www.rosenergoatom.ru/>
4. Электронно-библиотечная система «Лань» - <https://e.lanbook.com/>
5. Электронно-библиотечная система «Юрайт» - <https://urait.ru/>

## 7. Особые требования к материально-техническому обеспечению дисциплины

№	Наименование специальных помещений	Наименование оборудования
1.	Аудитория для проведения учебных занятий всех типов, курсового проектирования, консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации 634028, Томская область, г. Томск, Ленина проспект, д. 2 248Б	Дозиметр-радиометр МКС-АТ1117М - 1 шт.; Комплекс для проведения лабораторных работ по детектированию нейтронов - 1 шт.; Частотомер АСН-1300 - 2 шт.; Источник нейтронового излучения Плутоний-Бериллиевый тип ИБН-10 - 1 шт.; Источник питания НУ-3003 - 2 шт.; Комплекс СКС-07П-Г3 - 1 шт.; Прибор ПСО 2-4 - 1 шт.; Блок БНВ3-09 - 1 шт.;  Комплект учебной мебели на 6 посадочных мест Компьютер - 1 шт.
2.	Аудитория для проведения учебных занятий всех типов, курсового проектирования, консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации 634028, Томская область, г.	Комплект учебной мебели на 32 посадочных мест; Компьютер - 1 шт.; Проектор - 1 шт.

	Томск, Ленина проспект, д. 2 431	
3.	Аудитория для проведения учебных занятий всех типов, курсового проектирования, консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации (учебная лаборатория) 634028, Томская область, г. Томск, Ленина проспект, д. 2 340	Доска аудиторная настенная - 2 шт.; Комплект учебной мебели на 48 посадочных мест; Компьютер - 1 шт.; Проектор - 1 шт.

Рабочая программа составлена на основе Общей характеристики образовательной программы по направлению 14.03.02 Ядерные физика и технологии/специализация «Ядерные реакторы и энергетические установки» (приема 2020 г., очная форма обучения).

Разработчик(и):

Доцент ОЯТЦ ИЯТШ

Кузнецов М.С.

Программа одобрена на заседании ОЯТЦ ИЯТШ (протокол от «01» сентября 2020 г. №29-д).

Руководитель выпускающего отделения  
д.т.н, профессор

/А.Г. Горюнов/

подпись

**Лист изменений рабочей программы дисциплины:**

Учебный год	Содержание /изменение	Обсуждено на заседании ОЯТЦ (протокол)