

Димитровградский инженерно-технологический институт –

филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
(ДИТИ НИЯУ МИФИ)

«УТВЕРЖДАЮ»

Заместитель руководителя

_____ Т.И. Романовская
«__» _____ 2022г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.В.ДВ.02.01 «Асимптотические методы в физике»

Специальность _____ *14.05.01 Ядерные реакторы и материалы*

Квалификация выпускника _____ *инженер-физик*

Специализация _____ *Ядерные реакторы*

Форма обучения _____ *очная*

Выпускающая кафедра _____ *Ядерные реакторы и материалы*

Кафедра-разработчик рабочей программы _____ *Ядерные реакторы и материалы*

| Семестр | Трудоемкость час. (ЗЕТ) | Лекций, час. | Практич. занятий, час. | Лаборат. работ, час. | СРС, час. | Форма промежуточ- ного контроля (экз./зачет/кр) |
|--------------|----------------------------|-----------------|------------------------------|----------------------------|--------------|---|
| 8 | 108 (3) | 17 | 17 | 0 | 74 | Зачет |
| Итого | 108 (3) | 17 | 17 | 0 | 74 | Зачет |

Димитровград
2022 г

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|----|
| <u>1 ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ</u> | 3 |
| <u>2 ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ</u> | 4 |
| <u>3 МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ</u> | 6 |
| <u>4 ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ</u> | 6 |
| <u>5 СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ</u> | 6 |
| <u>6 ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ</u> | 19 |
| <u>7 ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ВХОДНОГО И ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ (АННОТАЦИЯ)</u> | 20 |
| <u>8 УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ</u> | 20 |
| <u>9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ</u> | 22 |
| <u>10 ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ДЛЯ ИНВАЛИДОВ И ЛИЦ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ</u> | 23 |

1 ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цели освоения дисциплины: ознакомление студентов с асимптотическими методами в анализе (основами теории асимптотических рядов, методов асимптотического разложения интегралов с большим параметром), ознакомление студентов с асимптотическими методами в теории дифференциальных уравнений (в том числе, с линейным и нелинейным методами ВКБ для дифференциальных уравнений, согласованием асимптотических разложений), ознакомление студентов с некоторыми специальными функциями.

Задачи: обучить построению и анализу асимптотических решений обыкновенных дифференциальных уравнений и фундаментальных уравнений математической физики.

2 ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций и индикаторов их достижения в соответствии с ОС НИЯУ МИФИ и ООП ВО по специальности.

Профессиональные компетенции и индикаторы их достижения:

| Задача профессиональной деятельности | Объект или область знания | Код и наименование ПК | Код и наименование индикатора достижения ПК | Основание (профессиональный стандарт, анализ опыта) Обобщенные трудовые функции |
|---|--|--|---|---|
| Тип задачи профессиональной деятельности: научно-исследовательский | | | | |
| Создание математических моделей, описывающих процессы в реакторах, использование фундаментальных законов физики ядра и частиц, гидродинамики и теплообмена, тепломассопереноса, создание новых методов расчета современных реакторных установок и физических устройств. | Атомное ядро, элементарные частицы, ядерные реакторы, реакторные материалы и теплоносители, перспективные и специальные типы ядерных энергетических установок, системы для преобразования тепловой и ядерной энергии в электрическую, ядерные материалы и системы обеспечения их безопасности, радиационное воздействие ионизирующих излучений на человека и окружающую среду, математические модели для теоретического и экспериментального исследований явлений и закономерностей в области реакторной физики, ядерных реакторов, ядерных материалов, физические и мате- | ПК-1 Способен создавать теоретические и математические модели, описывающие нейтронно-физические процессы в реакторах, процессы гидродинамики и тепломассопереноса в активных зонах или вблизи источников ионизирующего излучения на материалы, человека и объекты окружающей среды, системы учета, контроля ядерных материалов | З-ПК-1 Знать: нейтроннофизические процессы в реакторах, процессы гидродинамики и тепломассопереноса в активных зонах или вблизи источников ионизирующего излучения на материалы, человека и объекты окружающей среды, системы учета, контроля ядерных материалов У-ПК-1 Уметь: создавать теоретические и математические модели в профессиональной области В-ПК-1 Владеть: навыками работы с современными расчетными программными средствами | Профессиональный стандарт «24.078. Специалист-исследователь в области ядерно-энергетических технологий» Обобщенная трудовая функция В/02.7. Обобщение результатов, проводимых научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ с целью выработка предложений по разработке новых и усовершенствованию действующих ядерно-энергетических технологий |

| | | | | |
|--|---|--|--|--|
| | <p>математические модели процессов в ядерных установках, распространения и взаимодействия излучения с объектами живой и неживой природы, обеспечение безопасности ядерных материалов, объектов и установок атомной промышленности и энергетики.</p> | | | |
|--|---|--|--|--|

В результате изучения дисциплины студент специалитета должен:

Знать:

- Нейтроннофизические процессы в реакторах;
- Процессы гидродинамики и теплопереноса в активных зонах или воздействие ионизирующего излучения на материалы.

Уметь:

- Создавать теоретические и математические модели в профессиональной области.

Владеть:

- Навыками работы с современными расчетными программными средствами.

3 МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина *Асимптотические методы в физике* относится к *части, формируемой участниками образовательных отношений* модуля *Дисциплины (модули) по выбору 2 (ДВ.2)* учебного плана по специальности *14.05.01. Ядерные реакторы и материалы*.

4 ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

| Направления/цели воспитания | Задачи воспитания (код) | Воспитательный потенциал дисциплин |
|-----------------------------|---|--|
| Профессиональное воспитание | В30 формирование культуры ядерной безопасности; В31 формирование ответственности за обеспечение безопасной эксплуатации оборудования объектов атомной отрасли; В32 формирование ответственной экологической позиции. | Использование воспитательного потенциала дисциплины для: – участие в деятельности студенческого научного общества. – участие в подготовке публикаций в периодических научных изданиях; – участие в студенческих олимпиадах и конкурсах научных проектов, творческих мероприятиях, конкурсах профессионального мастерства, в том числе по стандартам Atomskills; – организация и проведение экскурсий, научно-практических конференций, форумов, вебинаров по вопросам профессиональной деятельности; |

5 СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1 Объем дисциплины

Общая трудоемкость (объем) *Асимптотические методы в физике* составляет 3 зачетных единиц (ЗЕТ), 108 академических часов.

Таблица 5.1 Объем дисциплины по видам учебных занятий

| Вид учебной работы | Всего, зачетных единиц (акад. часов) | Семестр |
|--|--------------------------------------|---------|
| | | 8 |
| Общая трудоемкость дисциплины | 3(108) | 108 |
| Контактная работа с преподавателем: | | |
| занятия лекционного типа | 17 | 17 |
| занятия семинарского типа | | |
| в том числе: семинары | | |
| практические занятия | 17 | 17 |
| практикумы | | |
| лабораторные работы | | |
| другие виды контактной работы | | |
| в том числе: курсовое проектирование | | |
| групповые консультации | | |
| индивидуальные консультации | | |
| иные виды внеаудиторной контактной работы | | |

| | | |
|--|--------------|--------------|
| Самостоятельная работа обучающихся: | 74 | 74 |
| изучение теоретического курса | 74 | 74 |
| расчетно-графические задания, задачи | | |
| реферат, эссе | | |
| курсовое проектирование | | |
| Вид промежуточной аттестации (зачет, экзамен) | зачет | зачет |
| Итого по дисциплине | 108 | 108 |

Таблица 5.2 - Распределение учебной нагрузки по разделам дисциплины

| № модуля образовательной программы | № раздела | Наименование раздела дисциплины | Виды учебной нагрузки и их трудоемкость, акад. часы | | | | | Формируемые компетенции |
|------------------------------------|-----------|--|---|----------------------|---------------------|------------------------|-------------|----------------------------|
| | | | Лекции | Практические занятия | Лабораторные работы | Самостоятельная работа | Всего часов | |
| 1 | 1 | Введение. Язык асимптотической физики – понятия и определения. Новая парадигма – простое и сложное поведение. Внешнее оправдание. Язык и логика нелинейной динамики. Парадокс в хаосе. Сдвиг Бернулли. рообразы динамического хаоса. Логистическое отображение. Проблема турбулентности – Лоренц, Рюэль, Такенс. Преобразование треугольника Пуанкаре и «подкова Смейла». Система Лоренца. | 1 | 1 | | 8 | 10 | З-ПК-1 У-ПК-1 В-ПК-1 |
| | 2 | Динамические системы и их устойчивость. Примеры динамических систем. Фазовые пространства динамических систем. Отображение, свойства отображений: траектория, гладкость, неподвижная точка, прообраз, пересечения. Уравнения движения и отображение. Примеры. Группы и полугруппы. | 1 | 2 | | 8 | 11 | З-ПК-1 У-ПК-1 В-ПК-1 |
| | 3 | Инвариантные множества. Устойчивые, неустойчивые и нейтральные подпространства собственных (присоединенных) векторов. Простейшие инвариантные множества и их устойчивость. Неподвижные точки и циклы. Гиперболичность, сечение Пуанкаре, устойчивость, бифуркации. | 1 | 1 | | 8 | 10 | З-ПК-1 У-ПК-1 В-ПК-1 |
| 2 | 4 | Обыкновенные дифференциальные уравнения (ОДУ). Неподвижные точки ОДУ. Теорема Гробмана-Хартмана. Периодические решения (циклы) автономных систем ОДУ. Фундаментальные решения, матрица монодромии, мультипликаторы Флоке, характеристические показатели. Построение сечения Пуанкаре. Отображение первого возвращения - отоб- | 1 | 1 | | 8 | 10 | З-ПК-1 У-ПК-1 В-ПК-1 |

| | | | | | | | | |
|---|---|--|---|---|--|----|----|----------------------------|
| | | ражение Пуанкаре. | | | | | | |
| | 5 | <p>Инвариантная мера динамических систем. Определение, свойства, эргодические свойства. Инвариантная мера и уравнение Перрона-Фробениуса. Типы инвариантных мер. Абсолютно непрерывная мера. Дискретная мера. Сингулярная мера. Средние значения и корреляции. Авто- и взаимокорреляционная функции. Преобразования плотности вероятности при замене переменных. Уравнение Перрона-Фробениуса. Инвариантная мера. Неразложные, эргодические меры. Устойчивость и сходимость мер. Теорема Крылова-Боголюва (о существовании инвариантной меры). Эргодическая теорема. Теорема о возвращении (Пуанкаре). Примеры непрерывных инвариантных мер. Шум и физическая мера.</p> | 2 | 4 | | 10 | 16 | 3-ПК-1 У-ПК-1 В-ПК-1 |
| | 6 | <p>Детерминированный хаос. Фракталы. Основные понятия. Качественные признаки хаоса. Примеры детерминированных динамических систем с хаотическим поведением. Количественные меры хаоса. Показатель Ляпунова. Примеры. Фракталы – определение. Фрактальные размерности. Размерность Хаусдорфа-Безиковича. Размерности Ренья. Коразмерность. Топологическая сопряженность. Эмпирические фрактальные размерности. Спектральная размерность. Размерность Минковского-Булгана и сосиска Минковского. Регулярные фракталы: канторовская пыль, снежинка фон Коха, салфетка и ковер Серпинского, трехмерный аналог салфетки Серпинского и губка Менгера-Серпинского. Обобщенная энтропия Ренья и энтропия Шеннона. Топологическая энтропия. Мультифракталы. Процессы на фрактальных множествах. Диффузия. Производная и интеграл дробного порядка. Оператор отражения. Волновые процессы на фрактальных множествах. Колебания на фрактальных множествах.</p> | 3 | 4 | | 10 | 17 | 3-ПК-1 У-ПК-1 В-ПК-1 |
| 3 | 7 | <p>Неподвижные точки и циклы отображений. неподвижная гиперболическая точка. Теорема Гробмана-Хартмана для гиперболических точек. Устойчивость и неустойчивость неподвижных точек. Асимптотическое поведение, физический смысл и разнообразие устойчивости. Понятие устойчивости. Шум, устойчивость, структурная устойчивость, предельное множество и асимптотическое поведение динамических систем. Аттрактор, неблуждающее множество. Четыре признака устойчивости. Предельные множества и устойчивость траекторий по Ляпунову.</p> | 3 | 2 | | 8 | 13 | 3-ПК-1 У-ПК-1 В-ПК-1 |

| | | | | | | | | |
|---------------|--|--|----|----|--|----|-----|----------------------------|
| | | Притягивающие множества. Аттракторы. Устойчивость множества по Ляпунову. Поглощающее множество α - и ω -инвариантные множества. Неблуждающее множество и устойчивость по Пуассону. Структурная устойчивость и гиперболичность. Понятие топологической эквивалентности (Андронов А.А., Понтрягин Л.С.). Бифуркация, диффеоморфизмы и гомеоморфизмы. | | | | | | |
| 8 | | Бифуркации неподвижных точек динамических систем. Бифуркационная диаграмма. Типичная ситуация. Коразмерность бифуркации, типичные бифуркации. Теория несовершенств. Теорема о центральном многообразии: выделение существенных размерностей для анализа бифуркаций. Устойчивое, неустойчивое и центральное инвариантные многообразия и их роль в бифуркационном анализе. Простейшие бифуркации, их нормальные формы. Цепочки бифуркации, сценарии перехода к хаосу: сценарий Ландау; сценарий Рюэля-Тakens; сценарий Фейгенбаума-Шарковского; сценарий Помо-Манневила (переменяемость). | 3 | 1 | | 8 | 12 | З-ПК-1 У-ПК-1 В-ПК-1 |
| 9 | | Параметры порядка и инерциальные многообразия. Самоорганизация. Адиабатическое приближение и асимптотическое приближение (А.Н. Тихонов). Концепция параметров порядка. Теория инерциальных многообразий для нелинейных диссипативных динамических систем. Оценка размерности аттрактора. Максимальный аттрактор полугруппы (группы) динамических систем | 2 | 1 | | 6 | 9 | З-ПК-1 У-ПК-1 В-ПК-1 |
| ИТОГО: | | | 17 | 17 | | 74 | 108 | |

5.2 Содержание дисциплины

Таблица 5.3 - Лекционный курс

| № лекции | Номер раздела | Тема лекции и перечень дидактических единиц* | Трудоемкость, акад. часов | |
|----------|---------------|--|---------------------------|---|
| | | | всего | в том числе с использованием интерактивных образовательных технологий |
| 1 | 1 | Язык асимптотической физики – понятия и определения. Новая парадигма – простое и сложное поведение. Внешнее оправдание. Язык и логика нелинейной динамики. Парадокс в хаосе. Сдвиг Бернулли. рообразы динамического хаоса. Логистическое отображение. Проблема турбулентности – Лоренц, Рюэль, Та- | 1 | 1 |

| | | | | |
|---|---|--|---|---|
| | | кенс. Преобразование треугольника Пуанкаре и «подкова Смейла». Система Лоренца. | | |
| 2 | 1 | Примеры динамических систем. Фазовые пространства динамических систем. Отображение, свойства отображений: траектория, гладкость, неподвижная точка, прообраз, пересечения. Уравнения движения и отображение. Примеры. Группы и полугруппы. | 1 | 1 |
| 3 | 1 | Устойчивые, неустойчивые и нейтральные подпространства собственных (присоединенных) векторов. Простейшие инвариантные множества и их устойчивость. Неподвижные точки и циклы. Гиперболичность, сечение Пуанкаре, устойчивость, бифуркации. | 1 | 1 |
| 4 | 2 | Неподвижные точки ОДУ. Теорема Гробмана-Хартмана. Периодические решения (циклы) автономных систем ОДУ. Фундаментальные решения, матрица монодромии, мультипликаторы Флоке, характеристические показатели. Построение сечения Пуанкаре. Отображение первого возвращения - отображение Пуанкаре. | 1 | 1 |
| 5 | 2 | Определение, свойства, эргодические свойства. Инвариантная мера и уравнение Перрона-Фробениуса. Типы инвариантных мер. Абсолютно непрерывная мера. Дискретная мера. Сингулярная мера. Средние значения и корреляции. Ав- | 1 | 1 |

| | | | | |
|---|---|--|---|---|
| | | то- и взаимнокорреляционная функции. Преобразования плотности вероятности при замене переменных. Уравнение Перрона-Фрабениуса. Инвариантная мера. | | |
| 6 | 2 | Неразложные, эргодические меры. Устойчивость и сходимость мер. Теорема Крылова-Боголюва (о существовании инвариантной меры). Эргодическая теорема. Теорема о возвращении (Пуанкаре). Примеры непрерывных инвариантных мер. Шум и физическая мера. | 1 | 1 |
| 7 | 2 | Фракталы. Основные понятия. Качественные признаки хаоса. Примеры детерминированных динамических систем с хаотическим поведением. Количественные меры хаоса. Показатель Ляпунова. Примеры. Фракталы – определение. Фрактальные размерности. Размерность Хаусдорфа-Безиковича. Размерности Ренье. Коразмерность. Топологическая сопряженность. Эмпирические фрактальные размерности. Спектральная размерность. Размерность Минковского-Булигана и сосиска Минковского. | 1 | 1 |
| 8 | 2 | Регулярные фракталы: канторовская пыль, снежинка фон Коха, салфетка и ковер Серпинского, трехмерный аналог салфетки Серпинского и губка Менгера-Серпинского. | 1 | 1 |
| 9 | 2 | Обобщенная энтропия Ренье и энтропия Шеннона. Топологическая энтропия. Мультифракталы. Процес- | 1 | 1 |

| | | | | |
|----|---|--|---|---|
| | | сы на фрактальных множествах. Диффузия. Производная и интеграл дробного порядка. Оператор отражения. Волновые процессы на фрактальных множествах. Колебания на фрактальных множествах. | | |
| 10 | 3 | Неподвижная гиперболическая точка. Теорема Гробмана-Хартмана для гиперболических точек. Устойчивость и неустойчивость неподвижных точек. Асимптотическое поведение, физический смысл и разнообразие устойчивости. Понятие устойчивости. Шум, устойчивость, структурная устойчивость, предельное множество и асимптотическое поведение динамических систем. | 1 | 1 |
| 11 | 3 | Аттрактор, неблуждающее множество. Четыре признака устойчивости. Предельные множества и устойчивость траекторий по Ляпунову. Притягивающие множества. Аттракторы. Устойчивость множества по Ляпунову. Поглощающее множества α - и ω -инвариантные множества. | 1 | 1 |
| 12 | 3 | Неблуждающее множество и устойчивость по Пуассону. Структурная устойчивость и гиперболичность. Понятие топологической эквивалентности (Андронов А.А., Понтрягин Л.С.). Бифуркация, диффеоморфизмы и гомеоморфизмы. | 1 | 1 |
| 13 | 3 | Бифуркационная диаграмма. Типичная ситуация. Коразмерность бифуркации, | 1 | 1 |

| | | | | |
|--------|---|---|----|----|
| | | типичные бифуркации. Теория несовершенств. Теорема о центральном многообразии: выделение существенных размерностей для анализа бифуркаций. | | |
| 14 | 3 | Устойчивое, неустойчивое и центральное инвариантные многообразия и их роль в бифуркационном анализе. | 1 | 1 |
| 15 | 3 | Простейшие бифуркации, их нормальные формы. Цепочки бифуркации, сценарии перехода к хаосу: сценарий Ландау; сценарий Рюэля-Тakensа; сценарий Фейгенбаума-Шарковского; сценарий Помо-Манневиля (перемежаемость). | 1 | 1 |
| 16 | 3 | Самоорганизация. Адиабатическое приближение и асимптотическое приближение (А.Н. Тихонов). | 1 | 1 |
| 17 | 3 | Концепция параметров порядка. Теория инерциальных многообразий для нелинейных диссипативных динамических систем. Оценка размерности аттрактора. Максимальный аттрактор полугруппы (группы) динамических систем | 1 | 1 |
| Итого: | | | 17 | 17 |

Таблица 5.4 - Практические занятия

| № занятия | Номер раздела | Наименование практического занятия и перечень дидактических единиц | Трудоемкость, acad. часов | |
|-----------|---------------|--|---------------------------|---|
| | | | всего | в том числе с использованием интерактивных образовательных технологий |
| 1 | 1 | Язык асимптотической физики – понятия и определения. Новая парадигма – простое и сложное поведение. Внешнее оправдание. Язык и логика нелинейной динамики. Парадокс в | 1 | 1 |

| | | | | |
|---|---|--|---|---|
| | | хаосе. Сдвиг Бернулли. рообразы динамического хаоса. Логистическое отображение. Проблема турбулентности – Лоренц, Рюэль, Такенс. Преобразование треугольника Пуанкаре и «подкова Смейла». Система Лоренца. | | |
| 2 | 1 | Примеры динамических систем. Фазовые пространства динамических систем. Отображение, свойства отображений: траектория, гладкость, неподвижная точка, прообраз, пересечения. | 1 | 1 |
| 3 | 1 | Уравнения движения и отображение. Примеры. Группы и полугруппы. | 1 | 1 |
| 4 | 1 | Устойчивые, неустойчивые и нейтральные подпространства собственных (присоединенных) векторов. Простейшие инвариантные множества и их устойчивость. Неподвижные точки и циклы. Гиперболичность, сечение Пуанкаре, устойчивость, бифуркации. | 1 | 1 |
| 5 | 2 | Неподвижные точки ОДУ. Теорема Гробмана-Хартмана. Периодические решения (циклы) автономных систем ОДУ. Фундаментальные решения, матрица монодромии, мультипликаторы Флоке, характеристические показатели. Построение сечения Пуанкаре. Отображение первого возвращения - отображение Пуанкаре. | 1 | 1 |
| 6 | 2 | Определение, свойства, эргодические свойства. | 1 | 1 |

| | | | | |
|----|---|--|---|---|
| | | Инвариантная мера и уравнение Перрона-Фробениуса. Типы инвариантных мер. Абсолютно непрерывная мера. Дискретная мера. Сингулярная мера. | | |
| 7 | 2 | Средние значения и корреляции. Авто- и взаимокорреляционная функции. Преобразования плотности вероятности при замене переменных. | 1 | 1 |
| 8 | 2 | Уравнение Перрона-Фрабениуса. Инвариантная мера. Неразложные, эргодические меры. Устойчивость и сходимость мер. Теорема Крылова-Боголюва (о существовании инвариантной меры). | 1 | 1 |
| 9 | 2 | Эргодическая теорема. Теорема о возвращении (Пуанкаре). Примеры непрерывных инвариантных мер. Шум и физическая мера. | 1 | 1 |
| 10 | 2 | Фракталы. Основные понятия. Качественные признаки хаоса. Примеры детерминированных динамических систем с хаотическим поведением. Количественные меры хаоса. Показатель Ляпунова. Примеры. | 1 | 1 |
| 11 | 2 | Фракталы – определение. Фрактальные размерности. Размерность Хаусдорфа-Безиковича. Размерности Ренье. Коразмерность. Топологическая сопряженность. Эмпирические фрактальные размерности. Спектральная размерность. | 1 | 1 |
| 12 | 2 | Размерность Минковского-Булигана и сосиска | 1 | 1 |

| | | | | |
|----|---|---|---|---|
| | | Минковского. Регулярные фракталы: канторовская пыль, снежинка фон Коха, салфетка и ковер Серпинского, трехмерный аналог салфетки Серпинского и губка Менгера-Серпинского. | | |
| 13 | 2 | Обобщенная энтропия Ренне и энтропия Шеннона. Топологическая энтропия. Мультифракталы. Процессы на фрактальных множествах. Диффузия. Производная и интеграл дробного порядка. Оператор отражения. Волновые процессы на фрактальных множествах. Колебания на фрактальных множествах. | 1 | 1 |
| 14 | 3 | Неподвижная гиперболическая точка. Теорема Гробмана-Хартмана для гиперболических точек. Устойчивость и неустойчивость неподвижных точек. Асимптотическое поведение, физический смысл и разнообразие устойчивости. Понятие устойчивости. Шум, устойчивость, структурная устойчивость, предельное множество и асимптотическое поведение динамических систем. Аттрактор, неблуждающее множество. Четыре признака устойчивости. Предельные множества и устойчивость траекторий по Ляпунову. | 1 | 1 |
| 15 | 3 | Притягивающие множества. Аттракторы. Устойчивость множества по Ляпунову. Поглощающее множества α - и ω - | 1 | 1 |

| | | | | |
|----|---|--|---|---|
| | | <p>инвариантные множества. Неблуждающее множество и устойчивость по Пуассону.</p> <p>Структурная устойчивость и гиперболичность.</p> <p>Понятие топологической эквивалентности (Андронов А.А., Понтрягин Л.С.). Бифуркация, диффеоморфизмы и гомеоморфизмы.</p> | | |
| 16 | 3 | <p>Бифуркационная диаграмма. Типичная ситуация. Коразмерность бифуркации, типичные бифуркации. Теория несовершенств. Теорема о центральном многообразии: выделение существенных размерностей для анализа бифуркаций. Устойчивое, неустойчивое и центральное инвариантные многообразия и их роль в бифуркационном анализе.</p> <p>Простейшие бифуркации, их нормальные формы. Цепочки бифуркации, сценарии перехода к хаосу: сценарий Ландау; сценарий Рюэля-Такенса; сценарий Фейгенбаума-Шарковского; сценарий Помо-Манневиля (пережаемость).</p> | 1 | 1 |
| 17 | 3 | <p>Самоорганизация. Адиабатическое приближение и асимптотическое приближение (А.Н. Тихонов). Концепция параметров порядка. Теория инерциальных многообразий для нелинейных диссипативных динамических систем. Оценка размерности аттрактора. Максимальный аттрактор полугруппы (группы) динамиче-</p> | 1 | 1 |

| | | | | |
|--|--|---|-----------|-----------|
| | | ских систем – определение. Асимптотическое распределение и предельные режимы динамических систем. Фрактальная размерность аттрактора. Роль неравенства конуса в теории инерциальных многообразий и форм. Нелинейный метод Галеркина. Примеры. | | |
| | | Итого: | 17 | 17 |

Таблица 5.5 - Самостоятельная работа студента

| Раздел дисциплины | № п/п | Вид самостоятельной работы студента (СРС) и перечень дидактических единиц | Трудоемкость, часов |
|-------------------|-------|---|---------------------|
| 1 | 1.1 | Парадокс в хаосе | 2 |
| | 1.2 | Сдвиг Бернулли | 2 |
| | 1.3 | Система Лоренца | 4 |
| | 1.4 | Примеры динамических систем | 4 |
| | 1.5 | Группы и подгруппы | 4 |
| | 1.6 | Неподвижные точки и циклы | 4 |
| | 1.7 | Теорема Гробмана-Хартмана | 4 |
| 2 | 2.1 | Отображение Пуанкаре | 4 |
| | 2.2 | Типы инвариантных мер | 4 |
| | 2.3 | Шум и физическая мера | 4 |
| | 2.4 | Эргодическая теорема | 4 |
| | 2.5 | Качественные признаки хаоса | 4 |
| | 2.6 | Фрактальные размерности | 4 |
| | 2.7 | Диффузия | 4 |
| 3 | 3.1 | Колебания на фрактальных множествах | 2 |
| | 3.2 | Четыре признака устойчивости | 4 |
| | 3.3 | Бифуркация, диффеоморфизмы и гомеоморфизмы | 2 |
| | 3.4 | Устойчивость множества по Ляпунову | 2 |
| | 3.5 | Коразмерность бифуркации | 2 |
| | 3.6 | Сценарий Помо-Манневиля (перемежаемость) | 4 |
| | 3.7 | Теория несовершенств | 2 |
| | 3.8 | Адиабатическое приближение | 2 |
| | 3.9 | Оценка размерности аттрактора | 2 |
| ИТОГО: | | | 74 |

6 ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В ходе освоения дисциплины при проведении аудиторных занятий используются следующие образовательные технологии: лекции, практические занятия с использованием активных и интерактивных форм проведения занятий.

Интерактивное обучение реализуется как диалоговое обучение в ходе лекционных и практических занятий, что позволяет осуществлять взаимодействие между студентом и преподавателем, а также между самими студентами.

При выполнении практических работ преподаватель занимается лишь общей организацией и регулированием процесса интерактивного взаимодействия студентов в бригадах, на которые разбивается студенческая группа. Преподаватель, кроме того, готовит заранее необходимые задания и формулирует вопросы для успешной реализации заданий, даёт консультации, контролирует время и порядок выполнения намеченного плана практического занятия. При решении задач практического занятия, студентам приходится вступать в коммуникацию друг с другом, совместно решать поставленные задачи, преодолевать конфликты, находить общие точки соприкосновения, идти на компромиссы. В результате, практические занятия позволяют интегрировать теоретические знания и практические умения.

Достижение планируемых результатов освоения дисциплины осуществляется за счет использования следующих образовательных технологий:

1. Информационные технологии – при применении компьютеров для использования электронных версий учебников, учебных пособий, методических указаний, журнальных статей и нормативной документации;

2. Работа в команде – совместная деятельность студентов в группе под руководством лидера, направленная на решение общей задачи путем творческого сложения результатов индивидуальной работы членов команды.

3. Case-study - анализ реальных проблемных ситуаций, имевших место в ядерной энергетике и поиск вариантов лучших решений.

На всех видах контроля студент должен продемонстрировать стандартные профессиональные действия за счет самостоятельного добывания необходимых знаний, умений и компетенций для конкретной и ранее неизвестной ситуации, возникающей при эксплуатации реакторной техники

Применяются вопросы с ветвлением допустимых решений, задачи на формирование прогноза, т.е. предполагаемых изменений в исходном объекте: «Что будет, если сделать то-то?».

При организации самостоятельной работы занятий используются методы самоуправляемой и самоконтролируемой познавательной деятельности через методы и технологии решения задач динамики и безопасности ЯЭУ.

Для проведения занятий с использованием электронного образования и дистанционных образовательных технологий используются следующие образовательные технологии и средства освоения дисциплины:

- электронная информационно-образовательная среда НИЯУ МИФИ – Режим доступа <https://eis.mephi.ru/>;

- платформа для проведения on-line конференций и вебинаров ZOOM – Режим доступа <https://zoom.us/>;

- файлообменная система Google Диск – Режим доступа <https://drive.google.com/>;

- система обмена текстовыми сообщениями для мобильных и иных платформ с поддержкой голосовой и видеосвязи WhatsApp;

- социальная сеть ВКонтакте;

- электронная почта преподавателей и студентов.

7 ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ВХОДНОГО И ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ И ИТОГОВОЙ АТТЕСТАЦИИ (АННОТАЦИЯ)

Фонд оценочных средств, включающий все виды оценочных средств, позволяющих проконтролировать сформированность у обучающихся компетенций и индикаторов их достижения, предусмотренных ОС НИЯУ МИФИ по специальности 14.05.01 Ядерные реакторы и материалы, ООП и рабочей программой дисциплины «Асимптотические методы в физике», приведен в Приложении.

Текущий контроль студентов производится в дискретные временные интервалы лектором и преподавателем, ведущим практические занятия по дисциплине, в следующих:

- тестирование;
- письменные домашние задания;
- устные опросы;
- рефераты;
- доклады;
- контрольные работы,

Отдельно оцениваются личностные качества студента (аккуратность, исполнительность, инициативность) – работа у доски, своевременная сдача тестов и письменных домашних заданий.

Промежуточный контроль студентов производится в следующей форме:

- зачет;

Контроль освоения дисциплины производится в соответствии с Положением о рейтинговой системе оценки знаний студентов ДИТИ НИЯУ МИФИ.

8 УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

8.1 Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Таблица 8.1 - Обеспечение дисциплины основной и дополнительной литературой по дисциплине

| N п/п | Автор | Название | Место издания | Наименование издательства | Год издания | Количество экземпляров |
|----------------------------|-------------------------------|--|---------------|---------------------------|-------------|------------------------|
| Основная литература | | | | | | |
| 1 | Малинецкий Г.Г., Потапов А.Б. | Современные проблемы нелинейной динамики | Москва | Эдиториал УРСС | 2002 | 1 |
| 2 | Пригожин И., Спенсер И. | Порядок из хаоса. Новый диалог человека с природой | Москва | Мир | 2003 | 1 |
| 3 | Мандельброт Б. | Фрактальная геометрия природы | Ижевск | РХД | 2001 | 1 |
| 4 | Кроновер Р.М. | Фракталы и хаос в динамических системах | Москва | Постмаркет | 2000 | 1 |

| | | | | | | |
|----|--|---|---------------|-----------------------------------|------|---|
| 5 | Гукенхеймер Дж., Холмс Ф. | Нелинейные колебания, динамические системы и бифуркации векторных полей | Ижевск-Москва | Институ компьютерных исследований | 2002 | 1 |
| 6 | Сб. статей под ред. Я.Г. Синая, Л.В. Шильникова. | Странные аттракторы | Москва | Мир | 1981 | 1 |
| 7 | Макин Р.С. | Введение в элементарную нелинейную динамику | Дмитровград | ДИТИ НИЯУ МИФИ | 2012 | 1 |
| 8 | Макин Р.С. | Введение в теорию инвариантных притягивающих множеств | Дмитровград: | ДИТИ НИЯУ МИФИ | 2012 | 1 |
| 9 | Кузнецов С.П. | Динамический хаос (курс лекций). | Москва.: | Изд-во физ-мат. лит. | 2006 | 1 |
| 10 | Макин Р.С. | Введение в теорию нелинейных диссипативных динамических систем. | Дмитровград: | ДИТУД Ул-ГТУ | 2006 | 1 |

8.2 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

Перечень рекомендуемых Интернет сайтов:

1. <http://www.ditud.ru:2525/> (Электронная библиотека Дмитровградского института технологии, управления и дизайна)
2. library.mephi.ru/ (Электронно-библиотечная система НИЯУ МИФИ)
3. lanbook.com/ebs.php (Электронно-библиотечная система издательства «Лань»)

Таблица 8.2 – Рекомендуемые электронно-библиотечные системы

| № | Наименование ресурса | Тематика |
|---|---|---------------------------------|
| 1 | http://www.library.mephi.ru/ | Асимптотические методы в физике |
| 2 | https://e.lanbook.com/ | Асимптотические методы в физике |
| 3 | ЭБС НИЯУ МИФИ | Асимптотические методы в физике |
| 4 | ЭБС «Лань» | Асимптотические методы в физике |
| 5 | ЭБС «Консультант студента» | Асимптотические методы в |

| | | |
|---|-------------|---------------------------------|
| | | физике |
| 6 | ЭБС «ЮРАЙТ» | Асимптотические методы в физике |

8.3 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем

Таблица 8.3 – Перечень лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения

| № | Наименование | Краткое описание |
|---|--|--|
| 1 | Windows 10 Pro | Операционная система |
| 2 | Microsoft Office | Программа дает возможность чтения лекций, просмотра презентаций и различных учебных материалов по предмету. |
| 3 | КОМПАС 3D | В данном программном коде возможно просматривать чертежи и схемы оборудования АЭС |
| 4 | Браузеры: Internet Explorer 10, Internet Explorer 9, Internet Explorer 8, FireFox 10, Safari 5, Google Chrome 17 | Специальные программы для просмотра веб-страниц, поиска контента, файлов и их каталогов в Интернете |
| 5 | Антиплагиат.ВУЗ | Интернет-сервис для вузов, предназначенный для оценки степени самостоятельности письменных работ обучающихся |

Таблица 8.4 – Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем

| | Наименование | Тематика | Электронный адрес |
|--|--------------|----------|---|
| | Гарант | Правовая | https://www.garant.ru/ |
| | Консультант | Правовая | https://www.consultant.ru/ |

9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

| № п/п | Наименование помещений для проведения всех видов учебной деятельности, предусмотренной учебным планом, в том числе помещения для самостоятельной работы, с указанием перечня основного оборудования, учебно наглядных пособий и используемого программного обеспечения | Адрес (местоположение) помещений для проведения всех видов учебной деятельности, предусмотренной учебным планом |
|-------|--|---|
| 1 | Лаборатория ядерных реакторов № 32 Посадочные места – 36 Автоматизированное рабочее место преподавателя ПК- 1 шт. Проектор Nec (1 шт.) + экран (настенный) (1 шт.) Документ-камера Aver Vision U 50 (1 шт.) | 433511, Ульяновская область, г. Димитровград, ул. Куйбышева, 294 |

10 ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ДЛЯ ИНВАЛИДОВ И ЛИЦ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ

Обучение инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется в соответствии с:

– Порядком организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам – программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры (Приказ Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 06.04.2021 N 245);

– Положением об организации обучения студентов-инвалидов и студентов с ограниченными возможностями здоровья в НИЯУ МИФИ, утвержденным 29.08.2017г.;

– Методическими рекомендациями по организации образовательного процесса для обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в образовательных организациях высшего образования, в том числе оснащенности образовательного процесса (утверждены заместителем Министра образования и науки РФ А.А. Климовым от 08.04.2014 № АК-44/05вн).

**Дополнения и изменения в рабочей программе
дисциплины на 20__/20__ уч.г.**

Внесенные изменения на 20__/20__ учебный год

В рабочую программу вносятся следующие изменения:

1)

2)

или делается отметка о нецелесообразности внесения каких-либо изменений на данный учебный год

Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры

(дата, номер протокола заседания кафедры, подпись зав. кафедрой).

СОГЛАСОВАНО:

Заведующий выпускающей кафедрой _____

наименование кафедры личная подпись расшифровка подписи дата

Руководитель ООП,

ученая степень, должность _____

личная подпись расшифровка подписи дата