

**Министерство науки и высшего образования РФ**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**«Национальный исследовательский университет «МЭИ»**

---

Направление подготовки/специальность: 14.04.01 Ядерная энергетика и теплофизика

Наименование образовательной программы: Теплофизика и молекулярная физика

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная

**Рабочая программа дисциплины**  
**ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ В**  
**ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ**

<b>Блок:</b>	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
<b>Часть образовательной программы:</b>	Часть, формируемая участниками образовательных отношений
<b>№ дисциплины по учебному плану:</b>	Б4.Ч.01
<b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b>	2 семестр - 3;
<b>Часов (всего) по учебному плану:</b>	108 часов
<b>Лекции</b>	2 семестр - 16 часов;
<b>Практические занятия</b>	2 семестр - 32 часа;
<b>Лабораторные работы</b>	не предусмотрено учебным планом
<b>Консультации</b>	проводится в рамках часов аудиторных занятий
<b>Самостоятельная работа</b>	2 семестр - 59,7 часа;
<b>в том числе на КП/КР</b>	не предусмотрено учебным планом
<b>Иная контактная работа</b>	проводится в рамках часов аудиторных занятий
<b>включая:</b>	
<b>Расчетно-графическая работа</b>	
<b>Промежуточная аттестация:</b>	
<b>Зачет</b>	2 семестр - 0,3 часа;

Москва 2023

**ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:**

Преподаватель

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Герасимов Д.Н.
	Идентификатор	Ra5495398-GerasimovDN-6b58615

Д.Н. Герасимов

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель  
образовательной программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Яньков Г.Г.
	Идентификатор	Rbb1f0c84-YankovGG-11a2e4dc

Г.Г. Яньков

Заведующий выпускающей  
кафедрой

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Герасимов Д.Н.
	Идентификатор	Ra5495398-GerasimovDN-6b58615

Д.Н. Герасимов

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель освоения дисциплины:** освоение математического аппарата, требуемого для теоретического описания теплофизических задач

### Задачи дисциплины

- обучение дополнительному математическому аппарату и применению его для теоретического описания теплофизических задач;
- обучение навыкам применения методов и алгоритмов нелинейной динамики.

Формируемые у обучающегося **компетенции** и запланированные **результаты обучения** по дисциплине, соотнесенные с **индикаторами достижения компетенций**:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
ПК-1 Способен анализировать и моделировать физические процессы, используемые в атомной энергетике	ИД-1 <sub>ПК-1</sub> Имеет навыки математического описания и моделирования процессов в рабочих телах и элементах энергетических установок	знать: - алгоритмы определения емкости множества, показателя Ляпунова динамической системы и временного ряда; - основные специальные функции, нерегулярные геометрические модели, виды дробных производных и интегралов.  уметь: - применять алгоритмы определения характеристик динамических систем; - выявлять скейлинговые закономерности в экспериментальных данных.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к факультативным дисциплинам основной профессиональной образовательной программе Теплофизика и молекулярная физика (далее – ОПОП), направления подготовки 14.04.01 Ядерная энергетика и теплофизика, уровень образования: высшее образование - магистратура.

Базируется на уровне высшего образования (бакалавриат, специалитет).

Результаты обучения, полученные при освоении дисциплины, необходимы при выполнении выпускной квалификационной работы.

### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

#### 3.1 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единицы, 108 часов.

№ п/п	Разделы/темы дисциплины/формы промежуточной аттестации	Всего часов на раздел	Семестр	Распределение трудоемкости раздела (в часах) по видам учебной работы										Содержание самостоятельной работы/ методические указания
				Контактная работа							СР			
				Лек	Лаб	Пр	Консультация		ИКР		ПА	Работа в семестре	Подготовка к аттестации /контроль	
КПР	ГК	ИККП	ТК											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	Специальные функции математической физики	26.7	2	4	-	8	-	-	-	-	-	14.7	-	<p><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Специальные функции математической физики"</p> <p><b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу "Специальные функции математической физики" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях</p> <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Специальные функции математической физики"</p> <p><b><u>Подготовка расчетных заданий:</u></b> Задания ориентированы на решения минизадч по разделу "Специальные функции математической физики". Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач. провести расчеты по варианту задания и сделать выводы. В качестве задания используются следующие упражнения:</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [3], 1-20</p>
1.1	Специальные функции математической физики	26.7		4	-	8	-	-	-	-	-	-	14.7	
2	Скейлинг	27		4	-	8	-	-	-	-	-	15	-	<b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b>

2.1	Скейлинг	27		4	-	8	-	-	-	-	-	15	-	Изучение материала по разделу "Скейлинг" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <b><u>Подготовка расчетных заданий:</u></b> Задания ориентированы на решения минизаданий по разделу "Скейлинг". Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач. провести расчеты по варианту задания и сделать выводы. В качестве задания используются следующие упражнения: <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], 1-320
3	Устойчивость динамических систем	27		4	-	8	-	-	-	-	-	15	-	<b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу "Устойчивость динамических систем" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях
3.1	Устойчивость динамических систем	27		4	-	8	-	-	-	-	-	15	-	<b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Устойчивость динамических систем" <b><u>Подготовка расчетных заданий:</u></b> Задания ориентированы на решения минизаданий по разделу "Устойчивость динамических систем". Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач. провести расчеты по варианту задания и сделать выводы. В качестве задания используются следующие упражнения: <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [2], 1-312 [4], 1-488
4	Дробное интегрирование	27		4	-	8	-	-	-	-	-	15	-	<b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу "Дробное интегрирование" подготовка к

4.1	Дробное интегрирование	27		4	-	8	-	-	-	-	-	15	-	выполнению заданий на практических занятиях <b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Дробное интегрирование" <b><u>Подготовка расчетных заданий:</u></b> Задания ориентированы на решения минизаданий по разделу "Дробное интегрирование". Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач. провести расчеты по варианту задания и сделать выводы. В качестве задания используются следующие упражнения: <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [3], 20-245
	Зачет	0.3		-	-	-	-	-	-	-	0.3	-	-	
	Всего за семестр	108.0		16	-	32	-	-	-	-	0.3	59.7	-	
	Итого за семестр	108.0		16	-	32	-	-	-	-	0.3	59.7	-	

**Примечание:** Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПр – аудиторные консультации по курсовым проектам/работам; ИККП – индивидуальные консультации по курсовым проектам/работам; ГК- групповые консультации по разделам дисциплины; СР – самостоятельная работа студента; ИКР – иная контактная работа; ТК – текущий контроль; ПА – промежуточная аттестация

### 3.2 Краткое содержание разделов

#### 1. Специальные функции математической физики

##### 1.1. Специальные функции математической физики

Гамма-функция, ее основные свойства. Бета-функция. Гипергеометрическая функция. Дзета-функция Римана. Функция Миттаг-Леффлера. Интегральные преобразования. Преобразования Фурье, Лапласа и Меллина..

#### 2. Скейлинг

##### 2.1. Скейлинг

Размерности: топологическая, Хаусдорфа, Минковского. Фракталы. Автомодельные переменные и автомодельные решения дифференциальных уравнений. Солитоны, уравнение Кортевега – де Фриза и нелинейное уравнение Шредингера. Анализ размерностей. Скейлинг в термодинамике. Скейлинг в теории турбулентности..

#### 3. Устойчивость динамических систем

##### 3.1. Устойчивость динамических систем

Устойчивость точек на прямой и плоскости. Нормальные формы бифуркаций коразмерности 1. Показатель Ляпунова, методы его определения для систем обыкновенных дифференциальных уравнений и экспериментальных данных. Анализ временных рядов. Странные аттракторы. Хаотические и стохастические динамические системы..

#### 4. Дробное интегродифференцирование

##### 4.1. Дробное интегродифференцирование

Интеграл и производная Римана-Лиуввиля. Производная Маршо. Производная Грюнвальда-Летникова. Фрактальное броуновское движение. Аномальная диффузия. Дробно-дифференциальное уравнение диффузии, его автомодельные свойства..

### 3.3. Темы практических занятий

1. 28. Дробно-дифференциальное уравнение диффузии, его автомодельные свойства.;
2. 26. Фрактальное броуновское движение.
27. Аномальная диффузия.;
3. 24. Производная Маршо.
25. Производная Грюнвальда-Летникова.;
4. 23. Интеграл и производная Римана-Лиуввиля.;
5. 22. Хаотические и стохастические динамические системы.;
6. 21. Странные аттракторы.;
7. 20. Анализ временных рядов.;
8. 19. Показатель Ляпунова, методы его определения.;
9. 14. Анализ размерностей.;
10. 12. Уравнение Кортевега – де Фриза.
13. Нелинейное уравнение Шредингера.;
11. 10. Автомодельные переменные и автомодельные решения дифференциальных уравнений.
11. Солитоны.;
12. 8. Размерности: топологическая, Хаусдорфа, Минковского.
9. Фракталы.;
13. 4. Дзета-функция Римана.

5. Функция Миттаг-Леффлера.
6. Интегральные преобразования.
7. Преобразования Фурье, Лапласа и Меллина.;
14. 17. Устойчивость точек на прямой и плоскости.
18. Нормальные формы бифуркаций коразмерности 1.;
15. 15. Скейлинг в термодинамике.
16. Скейлинг в теории турбулентности.;
16. 1. Гамма-функция, ее основные свойства.
2. Бета-функция.
3. Гипергеометрическая функция..

### **3.4. Темы лабораторных работ** не предусмотрено

### **3.5 Консультации**

#### Групповые консультации по разделам дисциплины (ГК)

1. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Специальные функции математической физики"
2. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Скейлинг"
3. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Устойчивость динамических систем"
4. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Дробное интегрирование"

#### Текущий контроль (ТК)

1. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Специальные функции математической физики"
2. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Скейлинг"
3. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Устойчивость динамических систем"
4. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Дробное интегрирование"

### **3.6 Тематика курсовых проектов/курсовых работ**

Курсовой проект/ работа не предусмотрены

### 3.7. Соответствие разделов дисциплины и формируемых в них компетенций

Запланированные результаты обучения по дисциплине (в соответствии с разделом 1)	Коды индикаторов	Номер раздела дисциплины (в соответствии с п.3.1)				Оценочное средство (тип и наименование)
		1	2	3	4	
<b>Знать:</b>						
основные специальные функции, нерегулярные геометрические модели, виды дробных производных и интегралов	ИД-1ПК-1				+	Расчетно-графическая работа/Одномерное дробно-дифференциальное уравнение конвекции-диффузии
алгоритмы определения емкости множества, показателя Ляпунова динамической системы и временного ряда	ИД-1ПК-1			+		Расчетно-графическая работа/Расчет показателей Ляпунова
<b>Уметь:</b>						
выявлять скейлинговые закономерности в экспериментальных данных	ИД-1ПК-1		+			Расчетно-графическая работа/Анализ турбулентного сигнала
применять алгоритмы определения характеристик динамических систем	ИД-1ПК-1	+				Расчетно-графическая работа/Преобразование Фурье

#### **4. КОМПЕТЕНТНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ)**

##### **4.1. Текущий контроль успеваемости**

**2 семестр**

Форма реализации: Письменная работа

1. Анализ турбулентного сигнала (Расчетно-графическая работа)
2. Одномерное дробно-дифференциальное уравнение конвекции-диффузии (Расчетно-графическая работа)
3. Преобразование Фурье (Расчетно-графическая работа)
4. Расчет показателей Ляпунова (Расчетно-графическая работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

##### **4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине**

Зачет (Семестр №2)

По итогам КМ.

В диплом выставляется оценка за 2 семестр.

**Примечание:** Оценочные материалы по дисциплине приведены в фонде оценочных материалов ОПОП.

#### **5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

##### **5.1 Печатные и электронные издания:**

1. Табор, М. Хаос и интегрируемость в нелинейной динамике : пер. с англ. / М. Табор ; Ред. В. А. Журавлев . – М. : Эдиториал УРСС, 2001 . – 320 с. - ISBN 5-8360-0192-8 .;
2. Малинецкий, Г. Г. Математические основы синергетики. Хаос, структуры, вычислительный эксперимент / Г. Г. Малинецкий . – 7-е изд . – М. : Эдиториал УРСС, 2012 . – 312 с. – (Синергетика: от прошлого к будущему ; №2) . - ISBN 978-5-397-02595-9 .;
3. Самко, С. Г. Интегралы и производные дробного порядка и некоторые их приложения / С. Г Самко, А. А. Килбас, О. И. Маричев . – Минск : Наука и техника, 1987 . – 687 с.;
4. Ахромеева Т. С., Курдумов С. П., Малинецкий Г. Г., Самарский А. А.- "Структуры и хаос в нелинейных средах", Издательство: "ФИЗМАТЛИТ", Москва, 2007 - (488 с.)  
[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_cid=25&pl1\\_id=2094](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=2094).

##### **5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:**

1. Office / Российский пакет офисных программ;
2. Windows / Операционная система семейства Linux.

##### **5.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационно-справочные системы:**

1. ЭБС Лань - <https://e.lanbook.com/>
2. ЭБС "Университетская библиотека онлайн" - [http://biblioclub.ru/index.php?page=main\\_ub\\_red](http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red)
3. База данных Web of Science - <http://webofscience.com/>
4. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>

5. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>

#### 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	Т-417, Учебная аудитория	стол преподавателя, стол учебный, стул, шкаф, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, доска маркерная, компьютер персональный
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	Т-417, Учебная аудитория	стол преподавателя, стол учебный, стул, шкаф, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, доска маркерная, компьютер персональный
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	Т-417, Учебная аудитория	стол преподавателя, стол учебный, стул, шкаф, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, доска маркерная, компьютер персональный
Помещения для самостоятельной работы	Т-412, Учебная лаборатория вычислительной техники	стол преподавателя, стол учебный, стул, компьютерная сеть с выходом в Интернет, доска маркерная, компьютер персональный
Помещения для консультирования	Т-205, Учебная аудитория	стол преподавателя, стол учебный, стул, шкаф, доска маркерная
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	Т-213, Подсобное помещение	

## БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

### Применение современных математических методов в теплофизических исследованиях

(название дисциплины)

#### 2 семестр

**Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:**

- КМ-1 Преобразование Фурье (Расчетно-графическая работа)
- КМ-2 Анализ турбулентного сигнала (Расчетно-графическая работа)
- КМ-3 Расчет показателей Ляпунова (Расчетно-графическая работа)
- КМ-4 Одномерное дробно-дифференциальное уравнение конвекции-диффузии (Расчетно-графическая работа)

**Вид промежуточной аттестации – Зачет.**

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
		Неделя КМ:	12	13	14	15
1	Специальные функции математической физики					
1.1	Специальные функции математической физики		+			
2	Скейлинг					
2.1	Скейлинг			+		
3	Устойчивость динамических систем					
3.1	Устойчивость динамических систем				+	
4	Дробное интегрирование					
4.1	Дробное интегрирование					+
Вес КМ, %:			25	25	25	25