

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Физический факультет

УТВЕРЖДЕНО:  
Декан физического факультета  
С.Н. Филимонов

Рабочая программа дисциплины

**Фрактальные структуры**

по направлению подготовки

**03.03.02 Физика**

Направленность (профиль) подготовки:  
**«Фундаментальная физика»**

Форма обучения  
**Очная**

Квалификация  
**Бакалавр**

Год приема  
**2023**

СОГЛАСОВАНО:  
Руководитель ОП  
О.Н. Чайковская

Председатель УМК  
О.М. Сюсина

## **1. Цель и планируемые результаты освоения дисциплины (модуля)**

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

- ОПК-2 – способность проводить научные исследования физических объектов, систем и процессов, обрабатывать и представлять экспериментальные данные;
- ПК-1 Способен проводить научные исследования в выбранной области с использованием современных экспериментальных и теоретических методов, а также информационных технологий.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИОПК-2.2 Анализирует и интерпретирует экспериментальные и теоретические данные, полученные в ходе научного исследования, обобщает полученные результаты, формулирует научно обоснованные выводы по результатам исследования;

ИПК-1.1 Собирает и анализирует научно-техническую информацию по теме исследования, обобщает научные данные в соответствии с задачами исследования.

## **2. Задачи освоения дисциплины**

- Освоить аппарат фрактальной геометрии и сформировать навыки построения и анализа фрактальных и мультифрактальных структур.
- Научиться применять понятийный аппарата фрактального анализа для изучения свойств фрактальных структур и решения практических задач профессиональной деятельности.

## **3. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы**

Дисциплина относится к Блоку 1 «Дисциплины (модули)».

Дисциплина относится к части образовательной программы, формируемой участниками образовательных отношений, предлагается обучающимся на выбор.

## **4. Семестр(ы) освоения и форма(ы) промежуточной аттестации по дисциплине**

Семестр 6, зачет.

## **5. Входные требования для освоения дисциплины**

Для успешного освоения дисциплины требуются компетенции, сформированные в ходе освоения образовательных программ предшествующего уровня образования.

Для успешного освоения дисциплины требуются результаты обучения по следующим дисциплинам:

общая физика, дифференциальное и интегральное исчисление, линейная алгебра, математическая физика, функциональный анализ, программирование.

## **6. Язык реализации**

Русский

## **7. Объем дисциплины (модуля)**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 з.е., 72 часа, из которых:

- лекции: 16 ч.;
- практические занятия: 16 ч.;

в том числе практическая подготовка: 16 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

## **8. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам**

Тема 1. Представления о фрактальных объектах.

Краткое содержание темы.

Современные представления, используемые для описания реальных объектов, обладающих сложной геометрией.

Тема 2. Примеры фрактальных множеств.

Краткое содержание темы.

Триадное канторово множество, кривая Коха, множества Серпинского, губка Менгера, свойства и характеристики фрактальных множеств.

Тема 3. Меры и размерность Хаусдорфа-Безиковича.

Краткое содержание темы.

Множества и функции. Метрическое пространство. Меры.  $d$ - мера Хаусдорфа. Размерность Хаусдорфа-Безиковича. Свойства меры Хаусдорфа и размерности Хаусдорфа-Безиковича. Практическое вычисление размерности. Клеточная размерность. Вычисление клеточной размерности для простейших фракталов.

Тема 4. Самоподобные объекты. Размерность подобия.

Краткое содержание темы.

Понятие о самоподобии множеств. Ограниченные множества. Размерность подобия триадного канторова множества. Размерности подобия простейших фракталов. Метрика Хаусдорфа. Сжимающие отображения.

Тема 5. Построение фрактальных множеств с помощью сжимающих отображений.

Краткое содержание темы.

Сжимающие отображения подмножеств некоторого множества. Составные отображения. неподвижная точка составного отображения и фрактальное множество. Построение обобщенных канторовых множеств.

Тема 6. Информационные свойства фракталов.

Краткое содержание темы.

Информационные свойства фракталов. Понятие об информационной энтропии. Принцип максимума энтропии. Информационная энтропия фракталов.

Тема 7. Мультифрактальный анализ.

Краткое содержание темы.

Мера и сингулярность меры. Понятие о мультифракталах. Количественные характеристики мультифракталов. Термодинамическая аналогия. Биномиальный мультипликативный процесс. Показатели массы. Концентрация меры. Носитель меры. Обобщенный биномиальный процесс. Размерности Реньи. Вычисление мультифрактального спектра.

Тема 8. Примеры применения мультифрактального анализа.

Краткое содержание темы.

Мультифрактальный анализ оптических спектров. Параметр разветвления. Связность. Лакунарность. Метод скользящей ячейки.

## 9. Текущий контроль по дисциплине

Текущий контроль по дисциплине осуществляется путем контроля посещаемости, проведения контрольных работ, тестов по лекционному материалу и фиксируется в форме контрольной точки не менее одного раза в семестр. Оценочные материалы текущего контроля размещены на сайте ТГУ в разделе «Информация об образовательной программе» – <https://www.tsu.ru/sveden/education/eduop/>.

## 10. Порядок проведения и критерии оценивания промежуточной аттестации

Зачет в шестом семестре проводится в письменной форме по билетам. Продолжительность зачета 1 час.

Оценочные материалы для проведения промежуточной аттестации размещены на сайте ТГУ в разделе «Информация об образовательной программе» – <https://www.tsu.ru/sveden/education/eduop/>.

## 11. Учебно-методическое обеспечение

а) Электронный учебный курс по дисциплине в электронном университете «Moodle» – <https://moodle.tsu.ru/course/view.php?id=81>

б) Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине (<https://www.tsu.ru/sveden/education/eduop/>).

в) План семинарских / практических занятий по дисциплине.

Тема 1. Построение примеров математических фракталов: триадное канторово множество, кривая Коха, ковер Серпинского и др. Вычисление геометрических характеристик фрактальных множеств и их анализ.

Тема 2. Понятие об L-системах. Синтаксис L-систем. Примеры алгоритмов L-систем и построение фрактальных множеств.

Тема 3. Меры и размерность Хаусдорфа-Безиковича. Свойства меры Хаусдорфа. Свойства размерности Хаусдорфа-Безиковича. Упрощенные виды фрактальных размерностей. Примеры вычисления фрактальных размерностей для конкретных фракталов.

Тема 4. Самоподобие множеств и размерность подобия. Примеры самоподобных множеств и вычисления размерностей подобия.

Тема 5. Теорема о сжимающих отображениях. Примеры построения фрактальных множеств с использованием сжимающих отображений. Примеры обобщений триадного канторова множества.

Тема 6. Анализ свойств фрактальных объектов на основе понятий теории информации. Примеры вычисления информационных характеристик и их анализ для конкретных фракталов.

Тема 7. Мультифракталы. Распределение меры на множестве, сингулярности, степенной закон. Мультифрактальный спектр. Показатели массы. Размерности Реньи. Примеры вычисления мультифрактального спектра.

Тема 8. Биномиальный мультипликативный процесс и его модификации. Вычисление мультифрактальных характеристик. Примеры применения мультифрактального анализа к спектральному анализу. Вычисление мультифрактальных характеристик для примеров спектральной полосы.

## 12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет

а) основная литература:

– Мандельброт Б.Б. Фракталы и хаос. Множество Мандельброта и другие чудеса. – М.: НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика", 2009. – 392 с.

– Кистенев Ю.В. Введение в теорию фракталов (учебное пособие)/ Ю.В. Кистенев, А.В. Шаповалов. – Томск: Изд-во ТПУ, 2003. – 161 с.

– Федер Е. Фракталы. Пер. с англ. – М.: Мир, 1994. – 254 с.

– Смирнов Б.М. Физика фрактальных кластеров. – М.: Наука, 1991. – 260 с.

б) дополнительная литература:

– Pietronero L. Fractals in physics/ L. Pietronero, E. Tosatti (ed.). – Elsevier, 2012.

– Пайтген Х.-О. Красота фракталов. Образы комплексных динамических систем/ Х.-О. Пайтген, П.Х. Рихтер. – М.: Мир, 1993. – 176 с.

– Колмогоров А.Н. Элементы теории функций и функционального анализа/ А.Н. Колмогоров, С.В. Фомин. – М.: Наука, 1976. – 542 с.

– Шустер Г. Детерминированный хаос. Введение. – М., Мир, 1988.

– Батунин А.В. Фрактальный анализ и универсальность Фейгенбаума в физике адронов// УФН 1995. Т.165, No.6, с.645–660.

– Fractals in Science / Ed. Bunde A. and Havlin S./ Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris: Springer-Verlag, 1995. – 258 p.

– Fisher Y. Fractal image compression: theory and application. – New York et al.: Springer-Verlag. 1995. – 341p.

в) ресурсы сети Интернет:

– открытые онлайн-курсы

– Журнал «Эксперт» – <http://www.expert.ru>

– Математический архив. Фракталы. <http://archives.math.utk.edu/topics/fractals.html/>

– Физические демонстрации, включая фрактальные явления

<http://bloch.ciens.ucv.ve/~felix/Java/>

<http://www.physics.umd.edu/lecDEM/services/avmats/avmats.htm/>

<http://www.physics.umd.edu/lecDEM/outreach/quicklinks.htm/>

– Physics Word поисковая система: <http://physicsweb.org/article/world/11/9/3/1/>

<http://www.citycat.ru/julia/art/frac/index.html/>

<http://graffiti.u-bordeaux.fr/MAPBX/rousseau/astro.english.html/>

<http://graffiti.u-bordeaux.fr/MAPBX/rousseau/astro3e.html/>

<http://spanky.triumf.ca/www/fractint/findex.html>

<http://www.codenet.ru/progr/fract/intro.php>

[http://www.povray.org/resources/links/3D\\_Resources/Fractals/](http://www.povray.org/resources/links/3D_Resources/Fractals/)

<http://www.pangloss.com/seidel/Frac/>

### 13. Перечень информационных технологий

а) лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

– Microsoft Office Standart 2013 Russian: пакет программ. Включает приложения: MS Office Word, MS Office Excel, MS Office PowerPoint, MS Office OneNote, MS Office Publisher, MS Outlook, MS Office Web Apps (Word Excel MS PowerPoint Outlook);

– публично доступные облачные технологии (Google Docs, Яндекс диск и т.п.).

б) информационные справочные системы:

– Электронный каталог Научной библиотеки ТГУ – <http://chamo.lib.tsu.ru/search/query?locale=ru&theme=system>

– Электронная библиотека (репозиторий) ТГУ – <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Index>

– ЭБС Лань – <http://e.lanbook.com/>

– ЭБС Консультант студента – <http://www.studentlibrary.ru/>

– Образовательная платформа Юрайт – <https://urait.ru/>

– ЭБС ZNANIUM.com – <https://znanium.com/>

– ЭБС IPRbooks – <http://www.iprbookshop.ru/>

### 14. Материально-техническое обеспечение

Аудитории для проведения занятий лекционного типа.

Аудитории для проведения занятий семинарского типа, индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.

Помещения для самостоятельной работы, оснащенные компьютерной техникой и доступом к сети Интернет, в электронную информационно-образовательную среду и к информационным справочным системам.

Аудитории, оборудованные соответствующей техникой (в том числе «Актру»), для реализации учебного процесса в смешанном формате.

### 15. Информация о разработчиках

Шаповалов А.В., доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой теоретической физики ФФ НИ ТГУ.