

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
"Казанский (Приволжский) федеральный университет"  
Институт физики



УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по образовательной деятельности КФУ  
Проф. Д.А. Гаюровский  
01 » июня 2021 г.



*подписано электронно-цифровой подписью*

## **Программа дисциплины** Нелинейные системы и фракталы

Направление подготовки: 03.04.02 - Физика

Профиль подготовки: Теоретическая физика и моделирование физических процессов

Квалификация выпускника: магистр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2022

## Содержание

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОПОП ВО
2. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО
3. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся
4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий
  - 4.1. Структура и тематический план контактной и самостоятельной работы по дисциплине (модулю)
  - 4.2. Содержание дисциплины (модуля)
5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)
6. Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю)
7. Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)
8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)
9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)
10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)
11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)
12. Средства адаптации преподавания дисциплины (модуля) к потребностям обучающихся инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья
13. Приложение №1. Фонд оценочных средств
14. Приложение №2. Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)
15. Приложение №3. Перечень информационных технологий, используемых для освоения дисциплины (модуля), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем

Программу дисциплины разработал(а)(и): заведующий кафедрой, д.н. (профессор) Прошин Ю.Н. (Кафедра теоретической физики, Отделение физики), Yuri.Proshin@kpfu.ru

**1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОПОП ВО**

Обучающийся, освоивший дисциплину (модуль), должен обладать следующими компетенциями:

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ПК-2	Способен свободно владеть разделами физики, необходимыми для решения научно-исследовательских задач, и применять результаты научных исследований в проектной деятельности

Обучающийся, освоивший дисциплину (модуль):

Должен знать:

основные положения качественной теории дифференциальных уравнений, термины и подходы нелинейной динамики и теории динамических систем, применяемые для анализа поведения динамических систем; включая такие понятия как бифуркация, автоколебания, синхронизация, динамический хаос

Должен уметь:

формулировать задачи аналитического и численного исследования динамических систем на фазовой плоскости и в трехмерном фазовом пространстве и выбрать адекватные теоретические и численные методы их решения

Должен владеть:

аналитическим методом локализации и анализа на устойчивость состояний равновесия моделей сложных систем, компьютерными методами анализа устойчивости периодических решений, специализированными методами оценки меры хаотичности движения на аттракторе в фазовом пространстве модельной системы.

Должен демонстрировать способность и готовность:

к самостоятельной работе

**2. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО**

Данная дисциплина (модуль) включена в раздел "Б1.В.ДВ.01.01 Дисциплины (модули)" основной профессиональной образовательной программы 03.04.02 "Физика (Теоретическая физика и моделирование физических процессов)" и относится к дисциплинам по выбору части ОПОП ВО, формируемой участниками образовательных отношений.

Осваивается на 1 курсе в 1 семестре.

**3. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетных(ые) единиц(ы) на 72 часа(ов).

Контактная работа - 24 часа(ов), в том числе лекции - 12 часа(ов), практические занятия - 12 часа(ов), лабораторные работы - 0 часа(ов), контроль самостоятельной работы - 0 часа(ов).

Самостоятельная работа - 30 часа(ов).

Контроль (зачёт / экзамен) - 18 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины: экзамен в 1 семестре.

**4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий**

**4.1 Структура и тематический план контактной и самостоятельной работы по дисциплине (модулю)**

N	Разделы дисциплины / модуля	Се- местр	Виды и часы контактной работы, их трудоемкость (в часах)						Само- стоя- тель- ная ра- бота
			Лекции, всего	Лекции в эл. форме	Практи- ческие занятия, всего	Практи- ческие в эл. форме	Лабора- торные работы, всего	Лабора- торные в эл. форме	
N	Разделы дисциплины / модуля	Се- местр	Лекции, всего	Лекции в эл. форме	Практи- ческие занятия, всего	Практи- ческие в эл. форме	Лабора- торные работы, всего	Лабора- торные в эл. форме	Само- стоя- тель- ная ра- бота
1.	Тема 1. Основные понятия физики нелинейных систем. Формирование структур. Состояния равновесия и их устойчивость.	1	4	0	4	0	0	0	12
2	Тема 2. Бифуркации и детерминированный хаос.	1	2	0	2	0	0	0	6
3	Тема 3. Фракталы	1	6	0	6	0	0	0	12
	Нелинейные системы, основные свойства. Регулярное и нерегулярное движение. Динамические системы (описание, управляющие параметры, теорема КАМ)		12	0	12	0	0	0	30

Ячейки (валы) Бенара (описание, основные свойства, связь с уравнениями Лоренца). Гамильтоновы системы (описание, консервативные и диссипативные системы, фазовое пространство). Гармонический осциллятор (фазовый портрет). Линейный и нелинейный осцилляторы. Общие свойства. Система с произвольным потенциалом. Фазовые диаграммы. Фазовые точки, траектории. Стационарные решения, сепаратриссы. Построение фазовых диаграмм. Общее решение для математического маятника.

Модель Лоренца. Вывод уравнений Лоренца из уравнений гидродинамики. Анализ уравнений Лоренца (неподвижные точки, их устойчивость). Другие системы, описываемые уравнениями Лоренца. Диссипативный осциллятор с инерционной нелинейностью. Модель Лоренца (Бифуркации. Странный аттрактор. Численные решения. Симуляторы).

Линейный маятник в среде линейным трением (возможные решения, фазовые траектории, точное решение).

Отображение Пуанкаре. Переменные типа "действие"- "угол". Периодическое, квазипериодическое и нерегулярное движения. Задача Эно-Эйлеса. Понятие о показателях Ляпунова. Типы аттракторов.

Точечные отображения. Устойчивость неподвижных точек. Двумерное отображение Эно. Общие свойства одномерных отображений. Лестница Ламерея. Неподвижные точки, циклы, их устойчивость. Логистическое отображение с управляющим параметром. Каскад бифуркаций удвоения периода. Универсальность Фейгенбаума. Бифуркационная диаграмма. Поведение показателя Ляпунова.

### Тема 2. Бифуркации и детерминированный хаос.

Бифуркации и хаос. Сценарии развития хаоса в нелинейных динамических системах: сценарии Ландау, Рюеля-Такенса, Фейгенбаума, Помо-Маневила. Иллюстрация сценария Фейгенбаума с помощью спектров и фазовых портретов. Переход к хаосу через разрушение двумерного тора.

### Тема 3. Фракталы

Понятие о фракталах. Размерность Хаусдорфа (понятие) и размерность Хаусдорфа-Безиковича (точное определение). Классификация и построение различных типов фракталов. Простейшие геометрические, итерационные фракталы. Фракталы в природе. Геометрические фракталы (пыль Кантора, кривая и снежинка Коха, фигуры Серпинского, кривые Пеано, вселенная Фурнье), стохастические (природные) фракталы (траектория броуновской частицы, длина русла рек, длина побережья, фрактальные кластеры, фрактальность распределения вещества во Вселенной). Лист папоротника, IFS системы, L-системы.. способы их построения (turtle-графика). Примеры L-систем. Странные аттракторы нелинейных динамических систем (ангармонический осциллятор с трением и вынуждающей силой (аттрактор Уэда), аттрактор Лоренца). Фрактальные свойства хаоса. Нелинейные комплексные отображения. Алгебраические (динамические) фракталы. Неподвижные точки. Циклы. Аттракторы. Множества Жюлиа, Фату и Мандельброта. Итерация Ньютона. Аллеаторные фракталы. Фракталы в физике. Обзор бесплатных программ для визуализации и построения фракталов.

Примеры фракталов: природа, архитектура, города, произведения искусства, искусственные фракталы...

### 5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)

Самостоятельная работа обучающихся выполняется по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия. Самостоятельная работа подразделяется на самостоятельную работу на аудиторных занятиях и на внеаудиторную самостоятельную работу. Самостоятельная работа обучающихся включает как полностью самостоятельное освоение отдельных тем (разделов) дисциплины, так и проработку тем (разделов), осваиваемых во время аудиторной работы. Во время самостоятельной работы обучающиеся читают и конспектируют учебную, научную и справочную литературу, выполняют задания, направленные на закрепление знаний и отработку умений и навыков, готовятся к текущему и промежуточному контролю по дисциплине.

Организация самостоятельной работы обучающихся регламентируется нормативными документами, учебно-методической литературой и электронными образовательными ресурсами, включая:

Порядок организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования - программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры (утвержден приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 6 апреля 2021 года №245)

Письмо Министерства образования Российской Федерации №14-55-99бин/15 от 27 ноября 2002 г. "Об активизации самостоятельной работы студентов высших учебных заведений"

Устав федерального государственного автономного образовательного учреждения "Казанский (Приволжский) федеральный университет"

Правила внутреннего распорядка федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет"

Локальные нормативные акты Казанского (Приволжского) федерального университета

Моделирование и визуализация нелинейных динамических систем. Часть 1. Точечные отображения / Ю.Н. Прошин, М.А. Шакиров - <http://kpfu.ru/portal/docs/F1367493855/Tochechnye.otobrazheniya.pdf>

НСФ\_Прошин\_ЮН\_ЛПР\_06-119 - Команда в MS Teams -

<https://teams.microsoft.com/l/team/19%3a9m1XoqkcYGpRPLXhmSab9XTmo7x0XXHN2H7OXPUGTZY1%40thread.tacv2/conversation?context=...>

Страница проф. Прошина Ю.Н. - <http://mrsej.kpfu.ru/pro/>

## **6. Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю)**

Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю) включает оценочные материалы, направленные на проверку освоения компетенций, в том числе знаний, умений и навыков. Фонд оценочных средств включает оценочные средства текущего контроля и оценочные средства промежуточной аттестации.

В фонде оценочных средств содержится следующая информация:

- соответствие компетенций планируемым результатам обучения по дисциплине (модулю);
- критерии оценивания сформированности компетенций;
- механизм формирования оценки по дисциплине (модулю);
- описание порядка применения и процедуры оценивания для каждого оценочного средства;
- критерии оценивания для каждого оценочного средства;
- содержание оценочных средств, включая требования, предъявляемые к действиям обучающихся, демонстрируемым результатам, задания различных типов.

Фонд оценочных средств по дисциплине находится в Приложении 1 к программе дисциплины (модулю).

## **7. Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)**

Освоение дисциплины (модуля) предполагает изучение основной и дополнительной учебной литературы. Литература может быть доступна обучающимся в одном из двух вариантов (либо в обоих из них):

- в электронном виде - через электронные библиотечные системы на основании заключенных КФУ договоров с правообладателями;

- в печатном виде - в Научной библиотеке им. Н.И. Лобачевского. Обучающиеся получают учебную литературу на абонементе по читательским билетам в соответствии с правилами пользования Научной библиотекой.

Электронные издания доступны дистанционно из любой точки при введении обучающимся своего логина и пароля от личного кабинета в системе "Электронный университет". При использовании печатных изданий библиотечный фонд должен быть укомплектован ими из расчета не менее 0,5 экземпляра (для обучающихся по ФГОС 3++ - не менее 0,25 экземпляра) каждого из изданий основной литературы и не менее 0,25 экземпляра дополнительной литературы на каждого обучающегося из числа лиц, одновременно осваивающих данную дисциплину.

Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля), находится в Приложении 2 к рабочей программе дисциплины. Он подлежит обновлению при изменении условий договоров КФУ с правообладателями электронных изданий и при изменении комплектования фондов Научной библиотеки КФУ.

**8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)**

Fractal structures in nonlinear dynamics - <http://journals.aps.org/rmp/abstract/10.1103/RevModPhys.81.333>

Википедия -

[http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B5%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%8F\\_%D1%85%D0%B0%D0%BE%D1%81%D0%BE](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B5%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%8F_%D1%85%D0%B0%D0%BE%D1%81%D0%BE)

Игудесман, К.Б. Фрактальная геометрия - [http://libweb.kpfu.ru/ebooks/05-IMM/05\\_34\\_2010\\_kl-00005.20.pdf](http://libweb.kpfu.ru/ebooks/05-IMM/05_34_2010_kl-00005.20.pdf)

Коткин Г.Л., Черкасский В.С. Компьютерное моделирование физических процессов с использованием MATLAB. Новосибирск: НГУ. 173 с., 2001. - <http://www.phys.nsu.ru/cherk/main.pdf>

НЕЛИНЕЙНАЯ ФИЗИКА ХАОС ТЕОРИЯ КАТАСТРОФ - [http://www.ph4s.ru/book\\_ph\\_haos.html](http://www.ph4s.ru/book_ph_haos.html)

Образовательный проект А.Н. Варгина - <http://www.ph4s.ru/index.html>

Прошин, Ю.Н. Численные методы и мат.моделирование: Лекционный материал. [Электронный ресурс] / Ю.Н.Прошин, С.К.Сайкин, Р.Г.Демин - Казань, КФУ, Институт Физики, 2010. - 330 слайдов. - [http://mrsej.kpfu.ru/pro/pdf\\_10/ChMMM\\_all\\_10.pdf](http://mrsej.kpfu.ru/pro/pdf_10/ChMMM_all_10.pdf)

Физика хаоса - [http://chaos.phys.msu.ru/loskutov/PDF/Annot\\_the\\_physics\\_of\\_chaos.pdf](http://chaos.phys.msu.ru/loskutov/PDF/Annot_the_physics_of_chaos.pdf)

ФРАКТАЛЫ И ХАОС в динамических системах - <http://www.mmf.unn.ru/files/2014/01/Fractals-Chaos.pdf>

**9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)**

Вид работ	Методические рекомендации
лекции	<p>Разбор и усвоение лекционного материала. После каждой лекции студенту следует внимательно прочитать и разобрать конспект, при этом:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Понять и запомнить все новые определения.</li> <li>- Понять все математические выкладки и лежащие в их основе физические положения и допущения; воспроизвести все выкладки самостоятельно, не глядя в конспект.</li> <li>- Выполнить или доделать выкладки, которые лектор предписал сделать самостоятельно (если таковые имеются).</li> <li>- Если лектор предписал разобрать часть материала более подробно самостоятельно по доступным письменным или электронным источникам, то необходимо своевременно это сделать.</li> <li>- При возникновении каких-либо трудностей с пониманием материала рекомендуется обратиться за помощью к лектору. Для этого можно лично подойти к преподавателю, либо написать ему электронное письмо, сформулировав в нём возникающие вопросы. К письму можно прикрепить какие-либо электронные материалы, связанные с возникшими вопросами, например, отсканированные или сфотографированные листочки с рукописными комментариями, пометками, выкладками и т.п.</li> </ul> <p>Самостоятельное изучение части материала. Если часть учебного материала отведена на самостоятельное изучение, то необходимо приступить к этому незамедлительно после указания преподавателя и освоить материал в отведенные им сроки. Материал следует изучить по доступным письменным и электронным источникам, о которых сообщит преподаватель.</p>

Вид работ	Методические рекомендации
практические занятия	<p>Подготовка к практическим работам. Студент обязан перед выполнением каждой практической работы самостоятельно ознакомиться с теоретическим материалом и по ее результатам предоставить отчет. Перед выполнением практической работы требуется получить вариант задания. Далее необходимо ознакомиться с заданием. Выполнение практической работы следует начать с изучения теоретических сведений. Результаты работы необходимо оформить в виде отчета. Практическая работа считается выполненной, если предоставлен отчет о результатах выполнения задания и проведена защита проделанной работы.</p> <p>Защита проводится в два этапа:</p> <p>1) Демонстрируются результаты выполнения задания. В случае практической работы, предусматривающей разработку программного приложения при помощи тестового примера доказывається, что результат, получаемый при выполнении программы правильный.</p> <p>2) Необходимо ответить на ряд вопросов преподавателя, которые должны прояснить степень самостоятельности и понимания выполнения данной работы.</p> <p>Вариант задания выдается преподавателем, проводящим практические занятия, он же принимает практическую работу. Каждая практическая работа оценивается определенным количеством баллов в соответствии с регламентом балльно-рейтинговой системы</p> <p>Каждый отчет должен содержать: 1. Заголовок практической работы (название и цель работы). 2. Задание к практической работе. 3. Краткие теоретические сведения. 4. Описание последовательности действий, произведенных при выполнении работы (ход работы). 5. Результаты выполнения практической работы (в электронном варианте или распечатанные).</p> <p>Крайне желательно, сделать все задачи. В обратном случае, трудно будет рассчитывать на высокую оценку. Компьютерные задания засчитываются по полной, если они сделаны самостоятельно и отрабатывают без замечаний на компьютерах преподавателя.</p>
самостоятельная работа	<p>Самостоятельное изучение части материала. Если часть учебного материала отведена на самостоятельное изучение, то необходимо приступить к этому незамедлительно после указания преподавателя и освоить материал в отведенные им сроки. Материал следует изучить по доступным письменным и электронным источникам, о которых сообщит преподаватель, и информация о которых содержится в учебном плане.</p> <p>Бонусы даются за выход к доске с лекционной темой, за активность, за нахождение опечаток в методичке, за хорошие GUI к задачам лектора, особенно к задаче по клеточным автоматам</p>
экзамен	<p>Обучающийся по материалам лекций, основной и дополнительной литературы должен всесторонне и систематически изучить вопросы, выносимые на экзамен. Он также обязан изучить учебно-программный материал и уметь свободно выполнять задания, предусмотренные программой, усвоить взаимосвязь основных понятий дисциплины в их значении для приобретаемой профессии, проявить творческие способности в понимании, изложении и использовании учебно-программного материала.</p>

**10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)**

Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем, представлен в Приложении 3 к рабочей программе дисциплины (модуля).

**11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)**

Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине (модулю) включает в себя следующие компоненты:

Помещения для самостоятельной работы обучающихся, укомплектованные специализированной мебелью (столы и стулья) и оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду КФУ.

Учебные аудитории для контактной работы с преподавателем, укомплектованные специализированной мебелью (столы и стулья).

Компьютер и принтер для распечатки раздаточных материалов.

Мультимедийная аудитория.

## **12. Средства адаптации преподавания дисциплины к потребностям обучающихся инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья**

При необходимости в образовательном процессе применяются следующие методы и технологии, облегчающие восприятие информации обучающимися инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья:

- создание текстовой версии любого нетекстового контента для его возможного преобразования в альтернативные формы, удобные для различных пользователей;
- создание контента, который можно представить в различных видах без потери данных или структуры, предусмотреть возможность масштабирования текста и изображений без потери качества, предусмотреть доступность управления контентом с клавиатуры;
- создание возможностей для обучающихся воспринимать одну и ту же информацию из разных источников - например, так, чтобы лица с нарушениями слуха получали информацию визуально, с нарушениями зрения - аудиально;
- применение программных средств, обеспечивающих возможность освоения навыков и умений, формируемых дисциплиной, за счёт альтернативных способов, в том числе виртуальных лабораторий и симуляционных технологий;
- применение дистанционных образовательных технологий для передачи информации, организации различных форм интерактивной контактной работы обучающегося с преподавателем, в том числе вебинаров, которые могут быть использованы для проведения виртуальных лекций с возможностью взаимодействия всех участников дистанционного обучения, проведения семинаров, выступления с докладами и защиты выполненных работ, проведения тренингов, организации коллективной работы;
- применение дистанционных образовательных технологий для организации форм текущего и промежуточного контроля;
- увеличение продолжительности сдачи обучающимся инвалидом или лицом с ограниченными возможностями здоровья форм промежуточной аттестации по отношению к установленной продолжительности их сдачи:
- продолжительности сдачи зачёта или экзамена, проводимого в письменной форме, - не более чем на 90 минут;
- продолжительности подготовки обучающегося к ответу на зачёте или экзамене, проводимом в устной форме, - не более чем на 20 минут;
- продолжительности выступления обучающегося при защите курсовой работы - не более чем на 15 минут.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО и учебным планом по направлению 03.04.02 "Физика" и магистерской программе "Теоретическая физика и моделирование физических процессов".



### Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)

Направление подготовки: 03.04.02 - Физика

Профиль подготовки: Теоретическая физика и моделирование физических процессов

Квалификация выпускника: магистр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2022

#### Основная литература:

1. Поршнев, С. В. Компьютерное моделирование физических процессов в пакете MATLAB : учебное пособие / С. В. Поршнев. - 2-е изд., испр. - Санкт-Петербург : Лань, 2021. - 736 с. - ISBN 978-5-8114-1063-7. - Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com/book/167842> (дата обращения: 12.05.2022). - Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Усыченко, В. Г. Электронная синергетика. Физические основы самоорганизации и эволюции материи: Курс лекций : учебное пособие / В. Г. Усыченко. - Санкт-Петербург : Лань, 2021. - 240 с. - ISBN 978-5-8114-0997-6. - Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com/book/167815> (дата обращения: 12.05.2022). - Режим доступа: для авториз. пользователей.
3. Окорочков, В. А. Фракталы в фундаментальной физике. Фрактальные свойства множественного образования частиц и топология выборки : учебное пособие / В. А. Окорочков, Е. В. Сандракова. - Москва : НИЯУ МИФИ, 2009. - 460 с. - ISBN 978-5-7262-1126-8. - Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com/book/75960> (дата обращения: 12.05.2022). - Режим доступа: для авториз. пользователей.
4. Шакиров, М.А. Нелинейные точечные отображения. Практические задания по компьютерному моделированию / М.А. Шакиров, Ю.Н. Прошин - Казань: Казан. ун-т, 2020. - 36 с. - Текст: электронный. - URL: [https://kpfu.ru/staff\\_files/F377304942/Shakirov\\_Proshin\\_Point\\_map\\_2020.pdf](https://kpfu.ru/staff_files/F377304942/Shakirov_Proshin_Point_map_2020.pdf) (дата обращения 12.05.2022). - Режим доступа: для авториз. пользователей.

#### Дополнительная литература:

1. Пелюхова, Е. Б. Синергетика в физических процессах: самоорганизация физических систем : учебное пособие / Е. Б. Пелюхова, Э. Е. Фрадкин. - 2-е изд., испр. - Санкт-Петербург : Лань, 2021. - 320 с. - ISBN 978-5-8114-1138-2. - Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com/book/167841> (дата обращения: 12.05.2022). - Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Чуличков, А. И. Математические модели нелинейной динамики : учебное пособие / А. И. Чуличков. - 2-е изд. - Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2003. - 296 с. - ISBN 978-5-9221-0366-0. - Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com/book/59325> (дата обращения: 12.05.2022). - Режим доступа: для авториз. пользователей.
3. Структуры и хаос в нелинейных средах / Т. С. Ахромеева, С. П. Курдумов, Г. Г. Малинецкий, А. А. Самарский. - Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2007. - 488 с. - ISBN 978-5-9221-0887-4. - Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com/book/2094> (дата обращения: 12.05.2022). - Режим доступа: для авториз. пользователей.
4. Прошин, Ю. Н. Вычислительная физика : практический курс: учебно-методическое пособие / Ю. Н. Прошин, И. М. Еремин. - Казань: Казанский государственный университет, 2009. - 179 с. - {38 экз. в фондах библ. КФУ}
5. Аникин, В. М. Аналитические модели детерминированного хаоса / В. М. Аникин, А. Ф. Голубенцев. - Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2007. - 328 с. - ISBN 978-5-9221-0879-9. - Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com/book/5257> (дата обращения: 12.05.2022). - Режим доступа: для авториз. пользователей.

*Приложение 3  
к рабочей программе дисциплины (модуля)  
Б1.В.ДВ.01.01 Нелинейные системы и фракталы*

**Перечень информационных технологий, используемых для освоения дисциплины (модуля), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем**

Направление подготовки: 03.04.02 - Физика

Профиль подготовки: Теоретическая физика и моделирование физических процессов

Квалификация выпускника: магистр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2022

Освоение дисциплины (модуля) предполагает использование следующего программного обеспечения и информационно-справочных систем:

Операционная система Microsoft Windows 7 Профессиональная или Windows XP (Volume License)

Пакет офисного программного обеспечения Microsoft Office 365 или Microsoft Office Professional plus 2010

Браузер Mozilla Firefox

Браузер Google Chrome

Adobe Reader XI или Adobe Acrobat Reader DC

Kaspersky Endpoint Security для Windows

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе Издательства "Лань", доступ к которой предоставлен обучающимся. ЭБС Издательства "Лань" включает в себя электронные версии книг издательства "Лань" и других ведущих издательств учебной литературы, а также электронные версии периодических изданий по естественным, техническим и гуманитарным наукам. ЭБС Издательства "Лань" обеспечивает доступ к научной, учебной литературе и научным периодическим изданиям по максимальному количеству профильных направлений с соблюдением всех авторских и смежных прав.