

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

ФТД.02 НЕЛИНЕЙНЫЕ КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

Направление подготовки (специальность) 03.05.02 Фундаментальная и прикладная физика

Профиль подготовки (специализация)

Форма обучения очная

Год набора 2024

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Программу составили
Профессор, д.ф.-м.н. Коловский А.Р.

1 Цели и задачи изучения дисциплины

1.1 Цель преподавания дисциплины:

Формирование современного представления о теории нелинейных колебаний; знакомство с физическими методами исследования нелинейных систем; экстремальные формы колебаний и нерешенные проблемы.

1.2 Задачи изучения дисциплины:

- сформировать представление о теоретических и практических проблемах решения задач в теории нелинейных колебаний;
- овладеть основными понятиями и математическими методами в теории нелинейных колебаний и волн;
- сформировать навык и умение выбора оптимальной методики решения поставленной задачи;
- использовать полученные знания при изучении других дисциплин и проведении научных исследований.

1.3 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы высшего образования:

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения по дисциплине
ОПК-1 Способен применять современные теоретические модели физических явлений, процессов и систем, а также результаты экспериментальных исследований в фундаментальных и прикладных разработках;	
ОПК-1.1 Демонстрирует владение фундаментальными законами общей и теоретической физики	знать основные понятия и математические методы в теории нелинейных колебаний и волн; уметь решать задачи нелинейной динамики

Дисциплина реализуется без применения ЭО и ДОТ

2 Объем дисциплины (модуля)

Вид учебной работы	Всего, зачетных единиц (акад.час)	Семестр
		9
Общая трудоемкость дисциплины	2 (72)	2 (72)
Контактная работа с преподавателем:	1 (36)	1 (36)
занятия лекционного типа	1 (36)	1 (36)
Самостоятельная работа обучающихся	1 (36)	1 (36)
Вид промежуточной аттестации (Зачет)		Зачёт

3 Содержание дисциплины (модуля)

№ п/п	Вид работ	Темы занятия	Объем часов	Семестр /курс	Часы в эл. формате
Раздел 1. Основы классической механики					
1.	Лек	Уравнения Гамильтона. Интегралы движения.	10	9	
2.	Лек	Каноническая замена переменных	10	9	
3.	Ср	Самостоятельная работа	10	9	
Раздел 2. Интегрируемые системы					
1.	Лек	Инвариантные торы	1	9	
2.	Лек	Нерезонансная теория возмущения	1	9	
3.	Лек	Резонансная теория возмущения	1	9	
4.	Лек	Нелинейный резонанс	1	9	
5.	Ср	Самостоятельная работа	6	9	
Раздел 3. Хаотические системы					
1.	Лек	Критерий Чирикова. Показатели Ляпунова	2	9	
2.	Лек	Хаотическая диффузия. Хаотические системы	2	9	
3.	Ср	Самостоятельная работа	8	9	
Раздел 4. Диссипативные системы					
1.	Лек	Сжатие фазового объема	2	9	
2.	Лек	Виды аттракторов	2	9	
3.	Лек	Фрактальная размерность	2	9	
4.	Лек	Диссипативные отображения. Диссипативные системы	2	9	
5.	Ср	Самостоятельная работа	12	9	
6.	Зачёт	Зачет		9	

4 Учебно-методическое обеспечение дисциплины

4.1 Печатные и электронные издания:

1. Малинецкий Г. Г., Потапов А. Б. Нелинейная динамика и хаос: основные понятия:[учебное пособие]. - Москва: КомКнига, 2006. - 237 с..
2. Багдоев А. Г., Ерофеев В. И., Шекоян А. В. Линейные и нелинейные волны в диспергирующих сплошных средах: монография. - Москва: Физматлит, 2009. - 318 с..
3. Синай Я. Г., Шафаревич А. И. Квантовый хаос:.. - Москва: Институт компьютерных исследований, 2008. - 382 с..
4. Кингсеп А. С., Локшин Г. Р., Ольхов О. А., Кингсеп А. С. Основы физики. Курс общей физики: Т. 1. Механика, электричество и магнетизм. Колебания и волны. Волновая оптика: учебник для студентов вузов. - Москва: Физматлит, 2007. - 704 с..
5. Баранов А. М., Паклин Н. Н., Баранов Д. А., Мартынов С. Н., Власов З. В., Филатьев В. И., Тегай С. Ф., Золотов О. А. Механика. Теоретическая механика [Электронный ресурс]: электрон. учеб.-метод. комплекс дисциплины. - Красноярск: ИПК СФУ, 2007. - on-line - Режим доступа: http://lib3.sfu-kras.ru/ft/lib2/ELIB_DC/UMKD/i-306256.zip .
6. Лихтенберг А. Д., Либерман М. А., Чириков Б. В. Регулярная и стохастическая динамика: перевод с английского. - Москва: Мир, 1984. - 528 с..
7. Штокман Х., Демиховский В. Я. Квантовый хаос. Введение: пер. с англ.. - Москва: Физматлит, 2004. - 373 с..
8. Паршаков А. Н. Физика в ключевых задачах. Механика. Колебания. Акустика: [учебное пособие]. - Долгопрудный: Интеллект, 2013. - 239 с..
9. Демченко П. Ф., Кислов А. В. Стохастическая динамика природных объектов. Броуновское движение и геофизические приложения: монография. - Москва: ГЕОС, 2010. - 189 с..
10. Савельев И. В. Курс физики: Т. 2. Электричество. Колебания и волны. Волновая оптика: учебное пособие для вузов : в 3 томах : учеб. пособие для вузов. - СПб.: Лань, 2008. - 467 с..
11. Машуков А. В., Вершинина Н. И., Машукова А. Е. Колебания и волны: учебное пособие для вузов по инженернотехническим специальностям. - Красноярск: Красноярский университет цветных металлов и золота [ГУЦМиЗ], 2006. - 119 с..

4.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение, в том числе отечественного производства (программное обеспечение, на которое университет имеет лицензию, а также свободно распространяемое программное обеспечение):

1. Adobe Acrobat Reader DC . Программное обеспечение для просмотра и печати файлов PDF.
2. Microsoft Office Professional Plus 2007 Russian Academic. Офисный пакет Microsoft Office.
3. Microsoft Windows Professional 8 Russian. Операционная система Windows.

4.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационные справочные системы:

1. Мир математических уравнений <http://eqworld.ipmnet.ru>
2. Поисковая машина электронных книг <http://www.poiskknig.ru>
3. Файловый архив для студентов <http://www.studfiles.ru>
4. Научная электронная библиотека <http://elibrary.ru>
5. Информационные ресурсы | Библиотечно-издательский комплекс СФУ <https://bik.sfu-kras.ru/elib/databases>

5 Фонд оценочных средств

Фонд оценочных средств является приложением к рабочей программе дисциплины (модуля), хранится на кафедре, обеспечивающей преподавание данной дисциплины (модуля).

6 Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

учебная аудитория для проведения лекционных, семинарских и практических занятий: Специализированная мебель, демонстрационное оборудование, АРМ преподавателя, подключение к сети «Интернет» и индивидуальный неограниченный доступ в ЭИОС университета

помещение для самостоятельной работы обучающихся: специализированная мебель, демонстрационное оборудование, АРМ преподавателя, АРМ обучающихся, подключение к сети «Интернет» и индивидуальный неограниченный доступ в ЭИОС университета

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

По дисциплине (модулю)/ практике ФТД.02 Нелинейные колебания и волны

Направление подготовки/специальность

03.05.02 Фундаментальная и прикладная физика

Образовательная программа

03.05.02.30 Фундаментальная и прикладная физика

1. Перечень компетенций с указанием индикаторов их достижения, соотнесенных с результатами обучения по дисциплине (модулю), практики и оценочными средствами

Семестр ¹	Код и содержание индикатора компетенции	Результаты обучения ²	Оценочные средства ³
ОПК-1: Способен применять современные теоретические модели физических явлений, процессов и систем, а также результаты экспериментальных исследований в фундаментальных и прикладных разработках			
9	ОПК-1.1: Демонстрирует владение фундаментальными законами общей и теоретической физики	знать основные понятия и математические методы в теории нелинейных колебаний и волн	Реферат Контрольные вопросы к зачету
		уметь решать задачи нелинейной динамики	Реферат Контрольные вопросы к зачету

¹ Семестры указываются по порядку, для каждого индикатора

² Указываются результаты обучения по дисциплине (модулю), практике, соотнесенные с индикатором достижения компетенции.

³ Указываются оценочные средства для каждого индикатора.

2. Типовые оценочные средства или иные материалы, с описанием шкал оценивания и методическими материалами, определяющими процедуру проведения и оценивания достижения результатов обучения

Темы рефератов:

1. **Автоколебания в нелинейных системах: теория и приложения.** (Фокус: циклы, предельные циклы, условия существования, бифуркации циклов, примеры из физики, биологии, техники)
 - Обзор понятия автоколебаний.
 - Математическое описание автоколебаний (уравнения Ван дер Поля, Релея).
 - Методы анализа устойчивости предельных циклов.
 - Примеры автоколебательных систем в различных областях науки и техники (генераторы, биологические ритмы).
2. **Метод усреднения в теории нелинейных колебаний: принципы и примеры.** (Фокус: усреднение по быстрому времени, упрощение уравнений, анализ медленной динамики, применение к системам с малым параметром)
 - Основы метода усреднения Боголюбова-Митропольского.
 - Применение метода усреднения к осцилляторам с медленно меняющимися параметрами.
 - Анализ влияния медленных изменений на поведение системы.
 - Примеры применения метода в различных физических и технических системах.
3. **Хаос в детерминированных системах: странные аттракторы и показатели Ляпунова.** (Фокус: чувствительность к начальным условиям, фрактальная структура аттракторов, количественная характеристика хаоса, примеры хаотических систем)
 - Определение хаоса и его свойства.
 - Понятие странного аттрактора и его фрактальная размерность.
 - Расчет показателей Ляпунова для оценки хаотичности системы.
 - Примеры хаотических систем: аттрактор Лоренца, отображение Энона, логистическое отображение.
4. **Бифуркации в нелинейных системах: изменение качественного поведения.** (Фокус: типы бифуркаций (седло-узел, Хопфа, транскритическая), диаграммы бифуркаций, влияние параметров системы)
 - Классификация бифуркаций.
 - Анализ бифуркаций равновесия и периодических решений.
 - Построение диаграмм бифуркаций.
 - Примеры бифуркаций в различных системах (маятник, химические реакции).

5. **Солитоны: нелинейные волны, сохраняющие форму.** (Фокус: уравнение Кортевега-де Фриза, нелинейное уравнение Шрёдингера, взаимодействие солитонов, применение в оптике и гидродинамике)
 - Определение и свойства солитонов.
 - Получение уравнения Кортевега — де Фриза (KdV) и его солитонные решения.
 - Обсуждение нелинейного уравнения Шрёдингера (NLS) и солитонов в оптике.
 - Применение солитонов в передаче информации и других областях.
6. **Нелинейная динамика популяций: модели конкуренции и хищник-жертва.** (Фокус: модели Лотки-Вольтерры, устойчивость популяций, хаотическое поведение в популяционных моделях, влияние факторов окружающей среды)
 - Обзор моделей динамики популяций (Лотки-Вольтерры, Гилпина-Айялы).
 - Анализ устойчивости равновесий в популяционных моделях.
 - Обсуждение влияния конкуренции, хищничества и других факторов на динамику популяций.
 - Возможность хаотического поведения в сложных популяционных моделях.
7. **Нелинейные волны в плазме: особенности и применение.** (Фокус: плазменные колебания, ленгмюровские волны, ионно-звуковые волны, применение в термоядерном синтезе)
 - Обзор основных типов волн в плазме.
 - Нелинейные эффекты, возникающие при распространении волн в плазме.
 - Применение нелинейных волновых явлений в термоядерном синтезе и других областях.
8. **Синхронизация в нелинейных системах: фазовая синхронизация и эффект Курамото.** (Фокус: Синхронизация осцилляторов, модель Курамото, приложения в биологии и технике)
 - Определение и механизмы синхронизации.
 - Модель Курамото и ее применение для описания синхронизации осцилляторов.
 - Примеры синхронизации в различных областях: нейронные сети, биологические ритмы, энергосистемы.
9. **Методы обнаружения и анализа детерминированного хаоса в экспериментальных данных.** (Фокус: реконструкция фазового пространства, расчет показателей Ляпунова и энтропии, суррогатные данные)
 - Методы восстановления фазового пространства по временным рядам.

- Алгоритмы расчёта показателей Ляпунова и энтропии на основе экспериментальных данных.
- Использование суррогатных данных для проверки наличия детерминированного хаоса.

10. Современные приложения теории нелинейных колебаний и волн в биофизике и медицине. (Фокус: моделирование сердечного ритма, нейронные сети, методы лечения и диагностики на основе нелинейной динамики)

- Применение теории нелинейных колебаний для моделирования сердечной деятельности и анализа ЭКГ.
- Исследование динамики нейронных сетей и механизмов возникновения эпилептических припадков.
- Новые методы лечения и диагностики, основанные на использовании нелинейных эффектов (например, стимуляция мозга).

Методические рекомендации по подготовке реферата:

Написание реферата — это важный процесс, который помогает усвоить материал, развить аналитические и исследовательские навыки. Ниже приведены методические рекомендации, которые могут помочь в этом:

1. Выбор темы

- Актуальность: Выбирайте тему, которая интересует вас и имеет смысл в контексте учебного курса или современности.
- Специфика: Уточняйте и конкретизируйте тему, чтобы не охватывать слишком широкий пласт информации.

2. Сбор информации

- Источники: Используйте разнообразные источники: книги, научные статьи, интернет-ресурсы, учебники.
- Критический подход: Оценивайте достоверность и актуальность информации, обращая внимание на авторитетность источников.

3. Структура реферата

- Титульный лист: Указывайте название работы, ФИО, учебное заведение, дисциплину и дату.
- Содержание: Составьте оглавление, чтобы читатель мог легко ориентироваться в работе.
- Введение: Ознакомьте с темой, обоснуйте ее актуальность и поставьте цели и задачи.

- Основная часть: Разделите на логические главы и подразделы. Освещайте ключевые аспекты темы, приводите примеры и аргументы.

- Заключение: Подведите итоги работы, сделайте выводы и предложения по дальнейшему изучению темы.

- Список использованных источников: Перечислите все источники, на которые вы опирались при написании реферата, в соответствующем формате.

4. Стиль и язык

- **Ясность и точность:** Используйте простой и понятный язык, избегайте избыточной терминологии без объяснения.

- **Логичность:** Структурируйте мысли так, чтобы они следовали одна из другой, создавая логическую цепочку.

5. Оформление

- Реферат должен быть оформлен в соответствии с требованиями Стандарта университета «Общие требования к построению, изложению и оформлению документов учебной деятельности» [Электронный ресурс] / Красноярск: СФУ, 2021, СТУ 7.5-07-2021, <http://www.sfu-kras.ru/node/8127>

6. Проверка и редактирование

- **Корректурa:** Проверьте работу на наличие грамматических, орфографических и стилистических ошибок.

- **Чтение вслух:** Прочитайте текст вслух — это поможет выявить неясности и трудные для восприятия места.

7. Временные рамки

- **Планирование:** Определите срок написания реферата и распределите задания по времени: поиск информации, написание черновика, исправление и оформление.

Реферат можно готовить в группе до трех человек.

Реферат можно сдать по мере готовности в течение семестра. Без сдачи реферата студент не допускается к зачету.

Критерии оценки реферата:

«**Зачтено**» за реферат выставляется обучающемуся, если:

1. Содержание реферата в целом соответствует теме задания.

2. Продемонстрировано владение понятийно-терминологическим аппаратом дисциплины, отсутствуют ошибки в употреблении терминов. Показано умелое использование категорий и терминов дисциплины. Продемонстрировано умение аргументированно излагать собственную точку зрения. Изложение отчасти сопровождается адекватными иллюстрациями (примерами) из практики.

3. Реферат в достаточной степени структурирован и выстроен в заданной логике без нарушений общего смысла. Части ответа логически взаимосвязаны. Отражена логическая структура проблемы (задания): постановка проблемы – аргументация – выводы. Объем ответа незначительно превышает заданные рамки при сохранении смысла.

4. Достаточная степень самостоятельности, оригинальность в представлении материала.

«**Не зачтено**» выставляется обучающемуся, если:

1. Содержание реферата не соответствует теме задания или соответствует ему в очень малой степени. Продемонстрировано крайне

низкое (отрывочное) знание фактического материала, много фактических ошибок – практически все факты (данные) либо искажены, либо неверны.

2. Продемонстрировано крайне слабое владение понятийно-терминологическим аппаратом дисциплины (неуместность употребления, неверные аббревиатуры, искаженное толкование и т.д.), присутствуют многочисленные ошибки в употреблении терминов.

3. Реферат представляет собой сплошной текст без структурирования, нарушена заданная логика. Части реферата не взаимосвязаны логически.

Контрольные вопросы к зачету:

1. Уравнения Гамильтона

Динамические системы. Примеры динамических систем.

Каноническая формулировка механики. Уравнения Гамильтона. Интегралы движения. Уравнения Гамильтона как динамическая система.

2. Интегралы движения

Законы сохранения. Интегралы движения. Системы с периодической зависимостью от времени. Квазиэнергия. Понятие фазового пространства.

3. Каноническая замена переменных

Замены переменных. Каноническая замена переменных. Скобки Пуассона. Сохранение фазового объема. Замена переменных действие–угол.

4. Инвариантные торы

Интегрируемые системы. Полностью интегрируемые системы. Инвариантные торы. Частично интегрируемые системы.

5. Нерезонансная теория возмущения

Нерезонансная теория возмущения. Поправки к энергии вращательного и колебательного движения маятника.

6. Резонансная теория возмущения

Системы с двумя и полутора степенями свободы. Условия резонанса. Резонансные торы. Топология нелинейного резонанса.

7. Нелинейный резонанс

Нелинейный резонанс. Топология нелинейного резонанса. Собственная частота и ширина нелинейного резонанса.

8. Критерий Чирикова

Хаотические системы. Критерий Чирикова. Численный анализ. Ротатор под действием периодической последовательности дельта импульсов.

9. Показатели Ляпунова

Численный анализ. Отображения поворота. Локальная неустойчивость. Показатели Ляпунова. Отображение Бернулли. Генератор случайных чисел.

10. Хаотическая диффузия

Функция распределения. Эргодичность и перемешивание. Отображения Арнольда и пекаря. Энтропия. Хаотическая диффузия.

11. Сжатие фазового объема

Трение в классической и квантовой механике. Диссипативные системы.
Сжатие фазового объема.

12 Виды аттракторов

Виды простых аттракторов. Странный аттрактор. Примеры странных аттракторов. Бифуркации удвоения периода.

13 Фрактальная размерность

Множество Кантора. Эвклидова и фрактальная размерность. Примеры фрактальных множеств.

14 Диссипативные отображения

Диссипативные отображения. Квадратичные отображения Фегенбаума. Анализ устойчивости периодических точек. Бифуркация Хопфа. Ренормализационный подход.

Методические рекомендации к зачету:

Для получения зачета необходимо получить «зачтено» за реферат. Если реферат не сдан, зачет сдается в форме устного опроса по билетам. Билет включает в себя два теоретических вопроса.

Критерии оценки зачета:

Оценка «зачтено» выставляется обучающемуся, если в ответе верно изложено не менее 50 % материала и не допущено существенных неточностей;

оценка «не зачтено» выставляется обучающемуся, который не знает значительной части (более 50 %) программного материала и допускает существенные ошибки.

Разработчик



А.Р. Коловский