

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

УТВЕРЖДАЮ
Директор по образовательной
деятельности

_____ С.Т. Князев
«__» _____

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА МОДУЛЯ

Код модуля	Модуль
1154611	Нелинейная физика

Екатеринбург

Перечень сведений о рабочей программе модуля	Учетные данные
Образовательная программа 1. Фундаментальная и прикладная физика	Код ОП 1. 03.05.02/33.01
Направление подготовки 1. Фундаментальная и прикладная физика	Код направления и уровня подготовки 1. 03.05.02

Программа модуля составлена авторами:

№ п/п	Фамилия Имя Отчество	Ученая степень, ученое звание	Должность	Подразделение
1	Москвин Александр Сергеевич	доктор физико- математических наук, профессор	Профессор	теоретической и математической физики

Согласовано:

Управление образовательных программ

Е.С. Комарова

1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МОДУЛЯ Нелинейная физика

1.1. Аннотация содержания модуля

Дисциплина «Нелинейная физика» дает фундаментальную теоретическую основу для самостоятельной работы в области использования современных методов нелинейной и стохастической динамики. В курсе рассматриваются следующие темы: нелинейные динамические системы и их свойства; бифуркации и катастрофы динамических систем; гамильтоновы системы; хаос в динамических системах; фракталы; стохастическое поведение динамических систем. Цель дисциплины: познакомить студентов с основными понятиями и методами нелинейной и стохастической динамики. Задачи дисциплины: студенты должны овладеть основами нелинейной и стохастической динамики, принципами получения и решения нелинейных и стохастических уравнений и математическими методами исследования нелинейных и стохастических динамических систем.

1.2. Структура и объем модуля

Таблица 1

№ п/п	Перечень дисциплин модуля в последовательности их освоения	Объем дисциплин модуля и всего модуля в зачетных единицах
1	Нелинейная физика	4
ИТОГО по модулю:		4

1.3. Последовательность освоения модуля в образовательной программе

Пререквизиты модуля	1. Математические основы профессиональной деятельности
Постреквизиты и кореквизиты модуля	1. Общая физика 2. Теоретическая физика 3. Общие вопросы теоретической физики

1.4. Распределение компетенций по дисциплинам модуля, планируемые результаты обучения (индикаторы) по модулю

Таблица 2

Перечень дисциплин модуля	Код и наименование компетенции	Планируемые результаты обучения (индикаторы)
1	2	3
Нелинейная	ОПК-1 - Способен выявлять,	З-1 - Демонстрировать понимание фундаментальных принципов, методов и

физика	формулировать и решать фундаментальные и прикладные задачи в области своей профессиональной деятельности и в междисциплинарных направлениях с использованием фундаментальных знаний и практических навыков	<p>подходов к решению фундаментальных и прикладных задач в профильной области деятельности и междисциплинарных направлениях</p> <p>У-1 - Выявлять и определять цели и пути решения фундаментальных и прикладных задач в профильной области деятельности, опираясь на фундаментальные законы и принципы, с использованием соответствующих целям подходов и методов</p> <p>П-1 - Предлагать пути решения фундаментальных и прикладных задач в профильной области деятельности и междисциплинарных направлениях, опираясь на фундаментальные законы и принципы с использованием соответствующих целям подходов и методов</p> <p>Д-1 - Демонстрировать аналитические умения и креативное мышление</p>
	ПК-1 - Владеет методами экспериментальных и теоретических исследований и алгоритмического моделирования для решения профессиональных задач в области физики магнитных явлений, медицинской и теоретической физики, физики конденсированного состояния	<p>З-1 - Сделать обзор основных методов теоретических и экспериментальных физических исследований</p> <p>З-2 - Классифицировать основные методы математического и алгоритмического моделирования, применимые для решения задач в области профессиональной деятельности</p> <p>У-1 - Самостоятельно формулировать задачу в рамках рассматриваемой проблемы</p> <p>П-1 - Осуществлять обоснованный выбор методов теоретических и экспериментальных физических исследований при решении поставленных задач</p>

1.5. Форма обучения

Обучение по дисциплинам модуля может осуществляться в очной формах.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
Нелинейная физика

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

№ п/п	Фамилия Имя Отчество	Ученая степень, ученое звание	Должность	Подразделение
1	Москвин Александр Сергеевич	доктор физико- математических наук, профессор	Профессор	теоретической и математической физики

Рекомендовано учебно-методическим советом института Естественных наук и математики

Протокол № 3 от 14.05.2021 г.

1. СОДЕРЖАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ

Авторы:

- Москвин Александр Сергеевич, Профессор, теоретической и математической физики

1.1. Технологии реализации, используемые при изучении дисциплины модуля

- Традиционная (репродуктивная) технология
- Разноуровневое (дифференцированное) обучение
 - Базовый уровень

**Базовый I уровень – сохраняет логику самой науки и позволяет получить упрощенное, но верное и полное представление о предмете дисциплины, требует знание системы понятий, умение решать проблемные ситуации. Освоение данного уровня результатов обучения должно обеспечить формирование запланированных компетенций и позволит обучающемуся на минимальном уровне самостоятельности и ответственности выполнять задания;*

Продвинутый II уровень – углубляет и обогащает базовый уровень как по содержанию, так и по глубине проработки материала дисциплины. Это происходит за счет включения дополнительной информации. Данный уровень требует умения решать проблемы в рамках курса и смежных курсов посредством самостоятельной постановки цели и выбора программы действий. Освоение данного уровня результатов обучения позволит обучающемуся повысить уровень самостоятельности и ответственности до творческого применения знаний и умений.

1.2. Содержание дисциплины

Таблица 1.1

Код раздела, темы	Раздел, тема дисциплины*	Содержание
P1	Введение. Нелинейность в физике. Динамические системы (ДС).	Отличия линейных и нелинейных систем. Физическая и геометрическая нелинейности. Нелинейная физика. Синергетика. Примеры ДС. Классификация динамических систем. Сосредоточенные и распределённые ДС. Непрерывные и Дискретные ДС. Способы дискретизации ДС: дискретизация во времени, дискретизация в пространстве, дискретизация наблюдаемых. Символическая динамика.
P2	Сосредоточенные динамические системы.	Автономные и не автономные сосредоточенные ДС. Различные типы постановки задач для сосредоточенных ДС. Метод последовательных приближений. Фазовое пространство. Фазовая точка. Фазовая траектория. Фазовый портрет. Не пересекаемость фазовых траекторий, отвечающих различным начальным условиям. Пример: фазовый портрет математического маятника, сепаратрисса, закон движения на сепаратриссе. Фазовый объём. Изменение фазового объёма со временем. Диссипативные, консервативные ДС и ДС с накачкой. Теорема Лиувилля. Теорема Пуанкаре о возврате. Парадокс Цермелло. Эргодичность ДС. Гамильтоновы системы (ГС). Интегралы движения (ИД) ГС. Скобки Пуассона. Канонические преобразования. Интегрируемые ГС. ИД находящиеся в инволюции. Теорема Лиувилля-Арнольда. Переменные действие-угол. Пример:

		гармонический осциллятор в переменных действие-угол. Особенность нелинейных интегрируемых ГС. Расслоение ФП на систему n-мерных торов. Рациональное и иррациональное отношение частот. Периодическое и квазипериодическое движение. Резонансные и не резонансные торы. Возмущения интегрируемых ГС. Проблема малых знаменателей. Понятие о теории Колмогорова-Арнольда-Мозьера (КАМ-теория).
Р3	Устойчивость динамических систем.	Типы устойчивости: устойчивость по Лагранжу, квазиасимптотическая устойчивость, орбитальная устойчивость, устойчивость по Пуассону, структурная устойчивость. Устойчивость по Ляпунову. Асимптотическая устойчивость по Ляпунову. Энергетический метод исследования устойчивости (второй метод Ляпунова). Функция Ляпунова. Свойства функции Ляпунова. Теоремы Ляпунова: об устойчивости, об асимптотической устойчивости, о неустойчивости. Составление функций Ляпунова. Метод неопределенных коэффициентов. Критерий Сильвестра. Устойчивость по линейному приближению. Критерий Гурвица. Устойчивость систем на фазовой плоскости. Классификация точек равновесия на фазовой плоскости.
Р4	Предельные циклы. Бифуркации.	Изолированные и не изолированные замкнутые фазовые траектории. Устойчивый и не устойчивый предельный цикл. Аттрактор. Автоколебания. Бифуркации в одномерных системах. Бифуркации на фазовой плоскости. Бифуркация Андронова-Хопфа.
Р5	Хаос в динамических системах	Хаос в динамических системах. Система Лоренца. Хаос в системе Лоренца. Странный аттрактор. Общие свойства систем с динамическим хаосом. Энтропия Колмогорова-Синяя. Показатели Ляпунова. Размерность множеств. Топологическая размерность. Размерность Хаусдорфа. Фракталы. Множество Кантора. Численное определение размерности Хаусдорфа.
Р6	Точечные отображения (ТО).	Отображение последования Пуанкаре. Функция последования. Неподвижные точки (НТ) точечных отображений. Устойчивость неподвижных точек. Лестница (диаграмма) Ламерея. Теорема Кёнигса. Взаимно-однозначные ТО. Области притяжения устойчивых НТ. Предельные циклы ТО (ПЦТО). Двукратный, трёхкратный и многократный ПЦТО. Хаос в ТО. Теоремы Шарковского и Ли-Йорке. Логистическое отображение. Бифуркации удвоения периода. Универсальная постоянная Фейгенбаума.
Р7	Нелинейные распределённые системы. Ударные волны в распределённых системах.	Распределённые системы. Уравнения гидродинамики вязкой жидкости. Гидродинамическая нелинейность. Уравнение Римана-Хопфа. Интегралы движения. Решения в виде бегущей волны. Укручение фронта волны. Градиентная катастрофа. Принцип равных площадей. Разрыв на фронте волны.

		Уравнение Бюргера. Стационарные волны. Механическая аналогия. Формула Гюгонио-Ренкина. Решение в виде стационарной ударной волны.
Р8	Солитоны в распределенных системах.	<p>Уравнение Кортевега-де Фриза (КдФ). Пространственная дисперсия. Различные формы записи уравнения КдФ. Линеаризованное уравнения КдФ. Решение линеаризованного уравнения КдФ. Функция Эйри. Расплывание фронта волны. Стационарное КдФ. Механическая аналогия. Солитоны. Понятие о методе обратной задачи рассеяния и многосолитонных решениях уравнения КдФ. Асимптотическое восстановление формы солитонов после взаимодействия.</p> <p>Уравнение sin-Gordon (SG). Стационарное SG. Механическая аналогия. Кинки и антикинки. Топологический заряд. Динамические и топологические солитоны.</p> <p>Нелинейное уравнение Шредингера. (НУШ). Стационарное НУШ. Солитоны огибающих. Светлые и тёмные солитоны.</p>

1.3. Направление, виды воспитательной деятельности и используемые технологии

Таблица 1.2

Направление воспитательной деятельности	Вид воспитательной деятельности	Технология воспитательной деятельности	Компетенция	Результаты обучения
Профессиональное воспитание	учебно-исследовательская, научно-исследовательская	Технология формирования уверенности и готовности к самостоятельной профессиональной деятельности	ПК-1 - Владеет методами экспериментальных и теоретических исследований и алгоритмического моделирования для решения профессиональных задач в области физики магнитных явлений, медицинской и теоретической физики, физики конденсированного состояния	З-2 - Классифицирует основные методы математического и алгоритмического моделирования, применимые для решения задач в области профессиональной деятельности

1.4. Программа дисциплины реализуется на государственном языке Российской Федерации .

2. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Нелинейная физика

Электронные ресурсы (издания)

1. Карлов, Н. В.; Колебания, волны, структуры : монография.; Физматлит, Москва; 2008; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=68395> (Электронное издание)
2. ; Структуры и хаос в нелинейных средах : монография.; Физматлит, Москва; 2007; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=67298> (Электронное издание)
3. Гленсдорф, П., П.; Термодинамическая теория структуры, устойчивости и флуктуаций; Мир, Москва; 1973; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=495515> (Электронное издание)

Печатные издания

1. Кроновер, Ричард М., Р. М., Кренкель, Т. Э., Соловейчик, А. Л.; Фракталы и хаос в динамических системах : учеб. пособие для студентов по специальности 01.02 "Прикладная математика".; Техносфера, Москва; 2006 (4 экз.)
2. Заславский, Г. М.; Введение в нелинейную физику. От маятника до турбулентности и хаоса; Наука, Москва; 1988 (3 экз.)
3. Ланда, Данда, П. С.; Нелинейные колебания и волны; Наука. Физматлит, Москва; 1997 (2 экз.)
4. Кузнецов, А. П., Кузнецов, С. П., Рыскин, Н. М.; Нелинейные колебания : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по физ. специальностям.; Физматлит, Москва; 2005 (1 экз.)
5. Васин, В. В.; Элементы нелинейной динамики: от порядка к хаосу : Учеб. пособие по спецкурсу.; Изд-во Урал. ун-та, Екатеринбург; 2003 (175 экз.)
6. Гринченко, В. Т., Мацыпура, В. Т., Снарский, А. А.; Введение в нелинейную динамику: Хаос и фракталы; ЛКИ, Москва; 2007 (1 экз.)

Профессиональные базы данных, информационно-справочные системы

1. Электронная научная библиотека. <https://elibrary.ru>
2. Университетская библиотека онлайн. <http://biblioclub.ru>
3. Зональная научная библиотека УрФУ. URL: <http://lib.urfu.ru>

Материалы для лиц с ОВЗ

Весь контент ЭБС представлен в виде файлов специального формата для воспроизведения синтезатором речи, а также в тестовом виде, пригодном для прочтения с использованием экранной лупы и настройкой контрастности.

Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

1. Российская государственная библиотека. URL: <http://www.rsl.ru>
2. Государственная публичная научно-техническая библиотека России. URL: <http://www.gpntb.ru>

3. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Нелинейная физика

Сведения об оснащённости дисциплины специализированным и лабораторным оборудованием и программным обеспечением

Таблица 3.1

№ п/п	Виды занятий	Оснащённость специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения
1	Лекции	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная Подключение к сети Интернет	Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM
2	Практические занятия	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная Подключение к сети Интернет	Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM
3	Консультации	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная Подключение к сети Интернет	Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM
4	Текущий контроль и промежуточная аттестация	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная Подключение к сети Интернет	Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM
5	Самостоятельная работа студентов	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в	Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM

		соответствии с количеством студентов Персональные компьютеры по количеству обучающихся Подключение к сети Интернет	
--	--	--	--