

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский национальный исследовательский государственный университет»
(Новосибирский государственный университет, НГУ)

**Физический факультет
Кафедра физики неравновесных процессов**



ПРЕДПОСЛАВЛЯЮ
Декан ФФ, д.ф.-м.н.
В.Е.Блинов
2022 г.

**Рабочая программа дисциплины
НЕЛИНЕЙНАЯ ДИНАМИКА**

направление подготовки: **03.04.02 Физика**

направленность (профиль): **Общая и фундаментальная физика**

Форма обучения
Очная

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем			Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия			Консультации	Зачет	Дифференцированный зачет	Экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	72	22	14		14	18	2			2
Всего 72 часа / 2 зачётных единицы, из них: - контактная работа 40 часов										
Компетенции ПК-1										

Руководитель программы
д.ф.-м.н.

И. Б. Логашенко

Новосибирск, 2022

Содержание

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы.	3
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.	4
3. Трудоёмкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу.	5
4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведённого на них количества академических часов и видов учебных занятий.	5
5. Перечень учебной литературы.	7
6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся.	7
7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.	7
8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.	8
9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.	8
10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.	8

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы.

Дисциплина «Нелинейная динамика» имеет своей целью обучение магистрантов теории динамических систем, а также получение ими начальных практических навыков исследования динамических систем.

Дисциплина нацелена на формирование у выпускника профессиональной компетенции:

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
<p>ПК-1 Способен использовать специализированные знания в области физики при решении поставленных задач в научно-исследовательской деятельности в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.</p>	<p>ПК 1.1 Применяет специализированные знания в области физики при решении конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.</p> <p>ПК 1.2 Выбирает наиболее эффективные методы решения конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.</p>	<p>Знать методы и способы постановки и решения задач нелинейной динамики, принципы действия, функциональные и метрологические возможности современной аппаратуры для физических исследований, возможности, методы и системы компьютерных технологий для физических теоретических и экспериментальных исследований; базовые разделы нелинейной динамики: основные понятия, модели, законы и теории; теоретические и методологические основы нелинейной динамики и способы их использования при решении научно-инновационных задач.</p> <p>Уметь самостоятельно ставить и решать конкретные физические задачи научных исследований в области нелинейной динамики с использованием современной аппаратуры и компьютерных технологий; решать типовые учебные задачи по основным разделам нелинейной динамики; применять полученную теоретическую базу для решения научно-инновационных задач, грамотно работать с научной литературой с использованием новых информационных технологий; применять полученные теоретические знания для самостоятельного освоения специальных разделов нелинейной динамики, необходимых в профессиональной деятельности;</p>

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
		<p>определять необходимость привлечения дополнительных знаний из специальных разделов нелинейной динамики для решения научно-инновационных задач; применять знания нелинейной динамики для анализа и обработки результатов физических экспериментов; проводить анализ научной и технической информации в области нелинейной динамики и смежных дисциплин.</p> <p>Владеть навыками постановки и решения задач научных исследований в области нелинейной динамики с помощью современных методов и средств теоретических и экспериментальных исследований; навыками самостоятельной работы с учебной литературой по базовым разделам нелинейной динамики; основной терминологией и понятийным аппаратом базовых разделов нелинейной динамики; навыками решения базовых задач по нелинейной динамике; основными методами научных исследований; навыками использования теоретических основ базовых разделов нелинейной динамики при решении научно-инновационных задач; знаниями на уровне, позволяющем проводить эффективный анализ научной и технической информации в области нелинейной динамики и смежных дисциплин.</p>

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.

Дисциплина реализуется в осеннем семестре 1-го курса для магистрантов, обучающихся по направлению подготовки 03.04.02 Физика. Курс является одной из профессиональных дисциплин по выбору, реализуемых кафедрой физики неравновесных процессов. Для его восприятия требуется предварительная подготовка студентов по таким физическим дисциплинам как электродинамика, а также по математике (основы математического анализа,

дифференциальные уравнения). Он должен предшествовать выполнению квалификационной работы студента по данной специализации, так как дает ему необходимые знания, навыки и предоставляет инструменты для выполнения научных исследований в рамках подготовки его квалификационной работы.

3. Трудоемкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу.

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем			Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия			Консультации	Зачет	Дифференцированный зачет	Экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	72	22	14		14	18	2			2
Всего 72 часа / 2 зачётных единицы, из них: - контактная работа 40 часов										
Компетенции ПК-1										

Реализация дисциплины предусматривает практическую подготовку при проведении следующих видов занятий, предусматривающих участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью: лекции, практические занятия, консультации, самостоятельная работа студента и её контроль преподавателями с помощью заданий, экзамен.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля:

- текущий контроль успеваемости: контроль посещения лекций и практических занятий, опрос по пройденному материалу
- промежуточная аттестация: экзамен.

Общая трудоемкость рабочей программы дисциплины составляет 2 зачетные единицы.

- занятия лекционного типа – 22 часа;
 - практические занятия – 14 часов;
 - самостоятельная работа обучающегося в течение семестра, не включая период сессии – 14 часов;
 - промежуточная аттестация (подготовка к сдаче экзамена, консультации и экзамен) – 22 часа.
- Объем контактной работы обучающегося с преподавателем (занятия лекционного типа, практические занятия, групповые консультации, экзамен) составляет 40 часов.

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

Дисциплина представляет собой полугодовой курс, читаемый на 1-м курсе магистратуры физического факультета НГУ в 1-м семестре. Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачётные единицы, 72 академических часа.

№ п/п	Раздел дисциплины	Неделя семестра	Всего	Виды учебных занятий, включая самостоятель- ную работу студентов и трудоемкость (в часах)			Промежуточная аттестация (в часах)
				Аудиторные часы		Сам. работа в тече- ние семестра (не включая период сес- сии)	
				Лекции	Практические занятия		
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Динамические системы. Уравнения движения.	1–2	4	2		2	
2	Устойчивость. Структурная устойчивость.	3–4	6	2	2	2	
3	Бифуркации неподвижных точек динамических систем.	5-6	6	2	2	2	
4	Инвариантная мера динамической системы	7-8	6	2	2	2	
5	Энтропия динамической системы. Размерность аттракторов.	9-10	6	4	2	2	
6	Ляпуновские показатели	11-12	6	2	2	2	
7	Реконструкция аттракторов по временным рядам	13–14	6	4	2	2	
8	Обработка временных рядов	15	6	2	2	2	
9	Нейронные сети	16	8	2		2	
10	Групповая консультация		2				2
11	Самостоятельная подготовка обучающегося к экзамену		18				18
12	Экзамен		2				2
	Всего		72	22	14	18	22

Программа и основное содержание лекций (22 часа)

В предлагаемом курсе лекций излагается современное состояние нелинейной динамики. Обсуждаются базовые понятия синергетики: самоорганизация, диссипативные структуры, динамический хаос. Основное внимание уделено вопросам, связанным с математическим моделированием нелинейных явлений. Анализируются количественные характеристики хаоса, методы обработки экспериментальных данных (временные ряды). Междисциплинарный характер нелинейной динамики позволяет находить новые методы «упрощения реальности».

Полученные в рамках курса знания и навыки могут применяться в области математического и физического моделирования в решении задач прогнозирования и идентификации.

1. Динамические системы. Уравнения движения. (2 часа)
2. Устойчивость. Структурная устойчивость. (2 часа)
3. Бифуркации неподвижных точек динамических систем. (2 часа)

4. Инвариантная мера динамической системы (2 часа)
5. Энтропия динамической системы. Размерность аттракторов. (4 часа)
6. Ляпуновские показатели. (2 часа)
7. Реконструкция аттракторов по временным рядам. (4 часа)
8. Обработка временных рядов (2 часа)
9. Нейронные сети. (2 часа)

Программа практических занятий (14 часов)

1. Устойчивость. Структурная устойчивость. (4 часа)
2. Бифуркации неподвижных точек динамических систем. (4 часа)
3. Энтропия динамической системы. Размерность аттракторов (4 часа)
4. Обработка временных рядов (2 часа)

Самостоятельная работа студентов (32 часа)

Перечень занятий на СРС	Объем, час
Подготовка к практическим занятиям.	7
Изучение теоретического материала, не освещаемого на лекциях	7
Подготовка к экзамену	18

5. Перечень учебной литературы.

1. Малинецкий Г.Г., Потапов А.Б. Современные проблемы нелинейной динамики. Изд. Эдиториал УРСС, Москва, 2000, 335 с. (1 экз)
2. Эткинс П. Порядок и беспорядок в природе, Мир1987, 224 с. (5 экз)
3. Дж.М.Т. Томпсон. Неустойчивости и катастрофы в науке и технике. М. Мир. 1985 (6 экз)

6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся.

Самостоятельная работа студентов поддерживается следующими учебными пособиями:

Малинецкий Г.Г., Потапов А.Б. Современные проблемы нелинейной динамики. Изд. Эдиториал УРСС, Москва, 2000, 335 с.

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.

Для освоения дисциплины используются следующие ресурсы:

- электронная информационно-образовательная среда НГУ (ЭИОС);
- образовательные интернет-порталы;
- информационно-телекоммуникационная сеть Интернет.

7.1 Современные профессиональные базы данных

Не используются

7.2. Информационные справочные системы

Не используются.

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.

Для обеспечения реализации дисциплины используется стандартный комплект программного обеспечения (ПО), включающий регулярно обновляемое лицензионное ПО Windows и MS Office.

Использование специализированного программного обеспечения для изучения дисциплины не требуется.

9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.

Для реализации дисциплины используются специальные помещения:

1. Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, практических занятий, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля, промежуточной и итоговой аттестации.

2. Помещения для самостоятельной работы обучающихся.

Учебные аудитории укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду НГУ.

Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине для обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется согласно «Порядку организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в Новосибирском государственном университете».

10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.

10.1 Порядок проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине

Текущий контроль успеваемости

Текущий контроль успеваемости осуществляется в ходе семестра путем контроля посещения лекций и практических занятий, а также опросом по пройденному материалу в начале каждой лекции и практического занятия.

Промежуточная аттестация

Освоение компетенций оценивается согласно шкале оценки уровня сформированности компетенции. Положительная оценка по дисциплине выставляется в том случае, если заявленная

компетенция ПК-1 сформирована не ниже порогового уровня в части, относящейся к формированию способности использовать специализированные знания.

Окончательная оценка работы студента в течение семестра происходит на экзамене. Экзамен проводится в конце семестра в экзаменационную сессию по билетам в устной форме. Вопросы билета подбираются таким образом, чтобы проверить уровень сформированности компетенции ПК-1.

Вывод об уровне сформированности компетенций принимается преподавателем. Каждый вопрос билета оценивается от 0 до 5 баллов. Положительная оценка ставится, когда все компетенции освоены не ниже порогового уровня. Оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» означают успешное прохождение промежуточной аттестации. Критерии и шкалы оценивания индикаторов достижения результатов обучения отражены в Таблице 10.2.

Соответствие индикаторов и результатов освоения дисциплины

Таблица 10.1

Индикатор	Результат обучения по дисциплине	Оценочные средства
<p>ПК 1.1 Применяет специализированные знания в области физики при решении конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.</p>	<p>Знать методы и способы постановки и решения задач нелинейной динамики, принципы действия, функциональные и метрологические возможности современной аппаратуры для физических исследований, возможности, методы и системы компьютерных технологий для физических теоретических и экспериментальных исследований; базовые разделы нелинейной динамики: основные понятия, модели, законы и теории; теоретические и методологические основы нелинейной динамики и способы их использования при решении научно-инновационных задач.</p> <p>Уметь самостоятельно ставить и решать конкретные физические задачи научных исследований в области нелинейной динамики с использованием современной аппаратуры и компьютерных технологий; решать типовые учебные задачи по основным разделам нелинейной динамики; применять полученную теоретическую базу для решения научно-инновационных задач, грамотно работать с научной литературой с использованием новых информационных технологий; применять полученные теоретические знания для самостоятельного освоения специальных разделов нелинейной динамики, необходимых в профессиональной деятельности; определять необходимость привлечения дополнительных знаний из специальных разделов нелинейной динамики для решения научно-инновационных задач; применять знания нелинейной динамики для анализа и обработки результатов физических экспериментов; проводить анализ научной и технической информации в области нелинейной динамики и смежных дисциплин.</p> <p>Владеть навыками постановки и решения задач</p>	<p>Опрос в начале каждой лекции, экзамен.</p>

	<p>научных исследований в области нелинейной динамики с помощью современных методов и средств теоретических и экспериментальных исследований;</p> <p>навыками самостоятельной работы с учебной литературой по базовым разделам нелинейной динамики; основной терминологией и понятийным аппаратом базовых разделов нелинейной динамики;</p> <p>навыками решения базовых задач по нелинейной динамике; основными методами научных исследований; навыками использования теоретических основ базовых разделов нелинейной динамики при решении научно-инновационных задач; знаниями на уровне, позволяющем проводить эффективный анализ научной и технической информации в области нелинейной динамики и смежных дисциплин.</p>	
<p>ПК 1.2 Выбирает наиболее эффективные методы решения конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.</p>	<p>Уметь самостоятельно ставить и решать конкретные физические задачи научных исследований в области нелинейной динамики с использованием современной аппаратуры и компьютерных технологий; решать типовые учебные задачи по основным разделам нелинейной динамики; применять полученную теоретическую базу для решения научно-инновационных задач, грамотно работать с научной литературой с использованием новых информационных технологий; применять полученные теоретические знания для самостоятельного освоения специальных разделов нелинейной динамики, необходимых в профессиональной деятельности; определять необходимость привлечения дополнительных знаний из специальных разделов нелинейной динамики для решения научно-инновационных задач; применять знания нелинейной динамики для анализа и обработки результатов физических экспериментов; проводить анализ научной и технической информации в области нелинейной динамики и смежных дисциплин.</p> <p>Владеть навыками постановки и решения задач научных исследований в области нелинейной динамики с помощью современных методов и средств теоретических и экспериментальных исследований;</p> <p>навыками самостоятельной работы с учебной литературой по базовым разделам нелинейной динамики; основной терминологией и понятийным аппаратом базовых разделов нелинейной динамики;</p> <p>навыками решения базовых задач по нелинейной динамике; основными методами научных исследований; навыками использования теоретических основ базовых разделов нелинейной</p>	<p>Опрос в начале каждой лекции, экзамен.</p>

	динамики при решении научно-инновационных задач; знаниями на уровне, позволяющем проводить эффективный анализ научной и технической информации в области нелинейной динамики и смежных дисциплин.	
--	---	--

10.2 Описание критериев и шкал оценивания индикаторов достижения результатов обучения по дисциплине «Нелинейная динамика».

Таблица 10.2

Критерии оценивания результатов обучения	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Уровень освоения компетенции			
		Не сформирован (0 баллов)	Пороговый уровень (3 балла)	Базовый уровень (4 балла)	Продвинутый уровень (5 баллов)
1	2	3	4	5	6
Полнота знаний	ПК 1.1	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имеют место грубые ошибки.	Демонстрирует общие знания базовых понятий по темам/разделам дисциплины. Допускается значительное количество негрубых ошибок.	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Допускается несколько негрубых/несущественных ошибок. Не отвечает на дополнительные вопросы.	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Свободно и аргументированно отвечает на дополнительные вопросы.
Наличие умений	ПК 1.2	Отсутствие минимальных умений. Не умеет решать стандартные задачи. Имеют место грубые ошибки.	Продемонстрированы частично основные умения. Решены типовые задачи. Допущены негрубые ошибки.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задания с негрубыми ошибками или с недочетами.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задания в полном объеме без недочетов и ошибок.
Наличие навыков (владение опытом)	ПК 1.2	Отсутствие владения материалом по темам/разделам дисциплины. Нет навыков в решении стандартных задач. Наличие грубых ошибок.	Имеется минимальный набор навыков при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.	Имеется базовый набор навыков при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.	Имеется базовый набор навыков при решении стандартных задач без ошибок и недочетов. Продемонстрированы знания по решению нестандартных задач.

10.3 Типовые контрольные задания и материалы, необходимые для оценки результатов обучения

Билет 1

1. Простое и сложное поведение. Порядок в хаосе
2. Прообразы динамического хаоса. Сдвиг Бернулли. Проблемы турбулентности

Билет 2

1. Определение динамической системы. Уравнения движения и отображение $\phi^t(x)$
2. Инвариантные множества. Асимптотическое поведение, физический смысл, устойчивость

Билет 3

1. Определение бифуркации. Теорема о центральном многообразии.
2. Центральное многообразие и анализ бифуркаций. Цепочки бифуркаций, сценарии перехода к хаосу.

Билет 4

1. Статистические методы применительно к динамическим системам. Инвариантная мера и уравнение Перрона-Фробениуса
2. Примеры непрерывных инвариантных мер. Динамические системы с шумом

Билет 5

1. Самоорганизация. Инерциальные многообразия, оценка размерности аттрактора.
2. Уравнение Курамото-Цузуки (или Гинзбурга-Ландау)

Билет 6

1. Энтропия динамической системы
2. Размерности аттракторов динамических систем

Билет 7

1. Устойчивость и показатели Ляпунова. Свойства ляпуновских показателей и их связь с другими характеристиками
2. Вычисление показателей Ляпунова

Билет 8

1. Временные ряды и их обработка
2. Идея реконструкции аттрактора. Выбор параметров реконструкции

Билет 9

1. Расчет фрактальной размерности аттрактора
2. Предсказание временных рядов. Оценка ляпуновских показателей по временному ряду

Билет 10

1. Применения алгоритмов нелинейной динамики. Размерность. Порог фрактальности и трудности реконструкции
2. Ложные соседи. Некорректность задачи

Форма экзаменационного билета представлена на рисунке

<p>МИНОБРНАУКИ РОССИИ</p> <p><i>Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет» (Новосибирский государственный университет, НГУ)</i></p> <p>Физический факультет</p>
<p>ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № _____</p> <p>1. 2.</p> <p>Составитель _____ /Ф.И.О. преподавателя/ (подпись)</p> <p>« ____ » _____ 20 ____ г.</p>

Оценочные материалы по промежуточной аттестации, предназначенные для проверки соответствия уровня подготовки по дисциплине требованиям СУОС, хранятся на кафедре-разработчике РПД в печатном и электронном виде.

**Лист актуализации рабочей программы
по дисциплине «Нелинейная динамика»
по направлению подготовки 03.04.02 Физика
Профиль «Общая и фундаментальная физика»**

№	Характеристика внесенных изменений (с указанием пунктов документа)	Дата и № протокола Учёного совета ФФ НГУ	Подпись ответственного