

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе
и образовательным инновациям

О.Н. Здрок
«30» _____ 2020 г.

Регистрационный № УД-_____/уч.



НЕЛИНЕЙНАЯ ФИЗИКА

**Учебная программа учреждения высшего образования
по учебной дисциплине для специальностей:**

1-31 04 01 Физика (по направлениям)

Направление специальности

1-31 04 01-01 Физика (научно-исследовательская деятельность)

1-31 04 07 Физика наноматериалов и нанотехнологий

1-31 04 08 Компьютерная физика

Учебная программа составлена на основе ОСВО 1-31 04 01-2013, учебного планов №G31-163/уч. от 30.05.2013; ОСВО 1-31 04 07-2013, учебного планов №G31-143/уч. от 30.05.2013; ОСВО 1-31 04 08-2013, учебных планов №G31-144/уч. от 30.05.2013, №G31и-178/уч. от 30.05.2013.

СОСТАВИТЕЛИ:

Г.Г. Крылов – доцент кафедры компьютерного моделирования физического факультета Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук, доцент;

О.Г. Романов — заведующий кафедрой компьютерного моделирования физического факультета Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук, доцент;

А.В. Жерело — заместитель начальника Центра информационных технологий Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук, доцент;

РЕЦЕНЗЕНТ:

С.В. Баханович — заместитель директора Института математики НАН Беларуси по научной и инновационной работе, кандидат физико-математических наук;

С.И. Максимов – заведующий кафедрой информационных технологий в образовании Государственного учреждения образования «Республиканский институт высшей школы», кандидат технических наук, доцент.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой компьютерного моделирования физического факультета Белорусского государственного университета (протокол № 16 от 25 мая 2020 г.);

Научно-методическим Советом БГУ (протокол № 5 от 17.06.2020 г.)

Заведующий кафедрой
компьютерного моделирования
к.ф.-м.н., доцент

_____ О.Г. Романов

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Программа учебной дисциплины «Нелинейная физика» разработана для специальностей высшего образования первой степени 1-31 04 01 Физика (по направлениям) направление специальности 1-31 04 01-01 Физика (научно-исследовательская деятельность), 1-31 04 07 Физика наноматериалов и нанотехнологий и 1-31 04 08 Компьютерная физика.

Цели и задачи учебной дисциплины

Целью учебной дисциплины «Нелинейная физика» является развитие компетенций студентов в овладении основными методами анализа динамических систем, включая нелинейные распределенных диссипативные системы, демонстрирующие сложное поведение и эффекты самоорганизации.

Задачи учебной дисциплины:

1. Формирование целостного представления об общих принципах построения компьютерных систем для сбора и предварительной обработки информации, основных интерфейсах взаимодействия компонентов вычислительной системы;
2. усвоение основных конструкция языка ассемблер и программирования на аппаратном уровне;
3. формирования навыков использования вычислительной техники и методов обработки данных при проведении экспериментальных исследований.

Дисциплина закладывает основные знания и умения, которыми должны владеть студенты для проведения эксперимента с использованием средств автоматизации в форме микропроцессорных систем в различных областях науки, инструментов анализа и интерпретации данных научного эксперимента.

Место учебной дисциплины в системе подготовки специалиста с высшим образованием

Учебная дисциплина относится к **циклу** специальных дисциплин компонента учреждения высшего образования.

Связи с другими учебными дисциплинами. Учебная дисциплина «Нелинейная физика» основана на знаниях и представлениях, заложенных в следующих дисциплинах: «Математический анализ», «Дифференциальные и интегральные уравнения», «Методы математической физики», «Теоретическая механика», «Физика волновых процессов», «Термодинамика и статистическая физика».

В качестве инструментального средства для выполнения лабораторных работ выбрана система «Mathematica», поддерживающая как численный, так и аналитический анализ рассматриваемых задач.

Требования к компетенциям

Освоение дисциплины «Нелинейная физика» должно обеспечить формирование следующих академических, социально-личностных и профессиональных компетенций:

Академические компетенции:

- АК-1. Уметь применять базовые научно-теоретические знания для решения теоретических и практических задач.
- АК-2. Владеть системным и сравнительным анализом.
- АК-3. Владеть исследовательскими навыками.
- АК-4. Уметь работать самостоятельно.
- АК-5. Быть способным порождать новые идеи (креативность).
- АК-6. Владеть междисциплинарным подходом при решении проблем.
- АК-7. Иметь навыки, связанные с использованием технических устройств, управлением информацией и работой с компьютером.
- АК-8. Обладать навыками устной и письменной коммуникации.
- АК-9. Уметь учиться, повышать свою квалификацию в течение всей жизни.

Социально-личностные компетенции:

- СЛК-1. Обладать качествами гражданственности
- СЛК-2. Быть способным к социальному взаимодействию.
- СЛК-3. Обладать способностью к межличностным коммуникациям.
- СЛК-5. Быть способным к критике и самокритике.
- СЛК-6. Уметь работать в команде.

Для специальности 1-31 04 01 Физика (по направлениям):

Профессиональные компетенции:

- ПК-1. Применять знания теоретических и экспериментальных основ физики, современных технологий и материалов, методы исследования физических объектов, методы измерения физических величин, методы автоматизации эксперимента.
- ПК-2. Использовать новейшие открытия в естествознании, методы научного анализа, информационные образовательные технологии, физические основы современных технологических процессов, научное оборудование и аппаратуру.
- ПК-4. Пользоваться глобальными информационными ресурсами, компьютерными методами сбора, хранения и обработки информации, системами автоматизированного программирования, научно-технической и патентной литературой.

Для специальности 1-31 04 07 Физика наноматериалов и нанотехнологий:

Профессиональные компетенции:

- ПК-1. Применять знания теоретических и экспериментальных основ физики наноматериалов и нанотехнологий, методов исследования физических объектов, методов измерения физических величин, методов автоматизации эксперимента, методов планирования, организации и ведения научно-производственной, научно-

педагогической, производственно-технической, опытно-конструкторской работы.

- ПК-2. Осуществлять на основе методов математического моделирования оценку эксплуатационных параметров функциональных наноматериалов и технологических процессов их получения.
- ПК-3. Пользоваться компьютерными методами сбора, хранения и обработки информации, системами автоматизированного программирования, научно-технической и патентной литературой.
- ПК-4. Взаимодействовать со специалистами смежных профилей.
- ПК-5. Применять полученные знания фундаментальных положений физики, экспериментальных, теоретических и компьютерных методов исследования, планирования, организации и ведения научно-технической и научно-педагогической работы.
- ПК-6. Использовать новейшие открытия в естествознании, методы научного анализа, информационные образовательные технологии, физические основы современных технологических процессов, включая нанотехнологии.
- ПК-7. Вести переговоры, разрабатывать планы сотрудничества с другими организациями.
- ПК-8. Пользоваться государственными языками Республики Беларусь и иными иностранными языками как средством делового общения.
- ПК-9. Пользоваться глобальными информационными ресурсами
- ПК-10. Реализовывать методы защиты производственного персонала и населения в условиях возникновения аварий, катастроф, стихийных бедствий и обеспечения радиационной безопасности при осуществлении научной, производственной и педагогической деятельности.
- ПК -11. Осуществлять поиск, систематизацию и анализ информации по перспективным направлениям развития отрасли, инновационным технологиям, проектам и решениям.
- ПК-12. Определять цели инноваций и способы их достижения.
- ПК-13. Применять методы анализа и организации внедрения инноваций в научно-производственной, научно-педагогической и научно-технической деятельности.

Для специальности 1-31 04 08 Компьютерная физика

Профессиональные компетенции:

- ПК-1. Применять знания теоретических и экспериментальных основ физики и математики, методов измерения физических величин, методов планирования, организации и ведения научно-производственной, научно-педагогической, производственно-технической, опытно-конструкторской работы, средств автоматизации, правового обеспечения хозяйственной деятельности и налоговой

системы, государственного регулирования экономики и экономической политики.

- ПК-2. Владеть современными методами программирования, компьютерными методами сбора, хранения и обработки информации, системами автоматизированного проектирования.
- ПК-3. Оценивать конкурентоспособность и экономическую эффективность разрабатываемого программного обеспечения.
- ПК-4. Пользоваться глобальными информационными ресурсами, новой научной, технической и патентной литературой по физике, математике, информатике, экономике и инновационным технологиям, основами психолого-педагогических знаний, навыками самообразования и самосовершенствования.
- ПК-6. Применять полученные знания фундаментальных положений физики, экспериментальных, теоретических и компьютерных методов исследования, планирования, организации и ведения научно-технической и научно-педагогической работы.
- ПК-7. Использовать новейшие открытия в естествознании, методы научного анализа, информационно-образовательные технологии, физические основы современных технологических процессов.
- ПК-8. Пользоваться государственными языками Республики Беларусь и иными иностранными языками как средством делового общения.
- ПК-9. Реализовывать методы защиты производственного персонала и населения в условиях возникновения аварий, катастроф, стихийных бедствий и обеспечения радиационной безопасности при осуществлении научной, производственной и педагогической деятельности.
- ПК-11. Осуществлять поиск, систематизацию и анализ информации по перспективным направлениям развития отрасли, инновационным технологиям, проектам и решениям.
- ПК-12. Определять цели инноваций и способы их достижения.
- ПК-13. Применять методы анализа и внедрения инноваций в научно-производственной, научно-педагогической и научно-технической деятельности.

В результате изучения учебной дисциплины студент должен:

знать:

- основные методы анализа нелинейных динамических систем;
- теоретические основы описания автоколебательных и авто волновых процессов, элементы теории бифуркаций и хаоса в динамических системах;
- принципы построения структурно-устойчивых динамических моделей предметной области;

уметь:

- проводить элементарный анализ устойчивости стационарных состояний динамических систем;
- реализовывать простейшие алгоритмы численного исследования динамических систем;
- разрабатывать программы на языке "Mathematica" для анализа свойств и поведения динамических систем;

владеть:

- элементарными методами нахождения особых точек динамических систем и линейного анализа устойчивости;
- элементарными навыками программирования на языке "Mathematica"
- навыками классификации и анализа нелинейных динамических систем.

Структура учебной дисциплины

Дисциплина изучается в 9 семестре. Всего на изучение учебной дисциплины «Нелинейная физика» по всем указанным специальностям отведено:

- для очной формы получения высшего образования – 74 часа, в том числе 46 аудиторных часов, из них: лекции – 24 часов, лабораторные занятия – 20 часов, управляемая самостоятельная работа – 2 часа.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 2 зачетные единицы.

Форма текущей аттестации – зачет

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Тема 1. Хаотическая динамика в гамильтоновых системах.

Движение в фазовом пространстве, понятие о потоке. Гамильтоновы системы. Теорема Лиувилля. Теорема Пуанкаре о возвратах. Переменные действие-угол, пример - гармонический осциллятор. Уравнение Лиувилля. Теория КАМ. Эргодичность и перемешивание. К-энтропия. Биллиарды Синая. Диффузия Арнольда. Неустойчивости сепаратрисных решений и стохастическая паутина.

Тема 2. Теория бифуркаций.

Аттракторы в динамических системах. Грубые и негрубые системы. Ветвление решений алгебраических уравнений. Классификация бифуркаций стационарной точки. Суб- и суперкритическая бифуркации. Многопараметрические системы. Элементы теории катастроф. Элементарная теория устойчивости ДУ. Показатели Ляпунова. Бифуркация Хопфа, автоколебания. Бифуркации периодических решений. Теория Флоке, мультипликаторы. Хаос и гиперхаос.

Тема 3. Сценарий Фейгенбаума перехода к хаосу.

Бифуркация удвоения периода и преобразование удвоения. Универсальность констант. Сценарий Фейгенбаума перехода к хаосу Уравнение ренорм-группы. Скэйлинг.

Тема 4. Перемежаемость и переход к хаосу.

Понятие о режиме перемежаемости. Перемежаемость I и III типа. Локальный анализ. Реламинаризация. РГ-анализ перемежаемости.

Тема 5. Переход к хаосу по сценарию Рюэля, Таккенса, Ньюхауса.

Бифуркация предельного цикла в двумерный тор. Сценарий Ландау. Странные аттракторы, модель Лоренца, аттрактор Ресслера.

Тема 6. Методы теории возмущений для нелинейных систем.

Регулярные и сингулярные возмущения. Регулярно-возмущенные колебательные системы, нерезонансный и резонансный случаи, проблема малых знаменателей. Метод гармонического баланса для нелинейных колебательных систем. Введение асимптотические методы возмущений. Методы усреднения для систем с быстрыми и медленными переменными. Метод Крылова-Боголюбова, метод Ван-дер-Поля.

Тема 7. Элементы теории самоорганизации.

Принцип подчинения и иерархия описаний в нелинейных распределенных диссипативных динамических системах. Процессы типа реакция-диффузия, модель Брюсселятора, реакции Белоусова-Жаботинского. Элементы теории открытых систем. Принцип минимума производства энтропии.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Дневная форма получения образования

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов		Количество часов УСР	Форма контроля знаний
		Лекции	Лабораторные занятия		
1	Хаотическая динамика в гамильтоновых системах.	4			Устный опрос
2	Теория бифуркаций.	8	12		Отчет по лабораторным работам
3	Сценарий Фейгенбаума перехода к хаосу.	2		1	Устный опрос, рефераты
4	Переменяемость и переход к хаосу.	2			Устный опрос
5	Переход к хаосу по сценарию Рюэля, Таккенса, Ньюхауса.	2		1	Устный опрос, рефераты
6	Методы теории возмущений для нелинейных систем.	4	8		Отчет по лабораторным работам
7	Элементы теории самоорганизации.	2			Устный опрос
	Всего	24	20	2	зачет

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Перечень основной литературы

1. Хакен Г. Синергетика. М., Мир 2015
2. Г. Шустер. Детерминированный хаос. М., Мир, 1988.
3. П. Берже, И. Помо, К. Видаль. Порядок в хаосе. О детерминистическом подходе к турбулентности. М., Мир, 1991.
4. Ж. Федер. Фракталы. М., Мир, 1988.
5. Хакен Г. Синергетика. М., 1980.
6. С.П.Кузнецов. Динамический хаос. Москва, Физматлит, 2001.
7. А.П.Кузнецов и др.. Нелинейные колебания Москва, Физматлит, 2002.
8. А.Х. Найфе Методы возмущений., М., Мир 1983г.
9. Хакен Г. Синергетика: Принципы и основы. Перспективы и приложения: Принципы и основы: Неравновесные фазовые переходы и самоорганизация в физике, химии и биологии. Пер. с англ. Ч.1 № 71. Изд. 2, доп. URSS. 2015. 448 с.

Перечень дополнительной литературы

1. В. С. Анищенко. Сложные колебания в простых системах. М., Наука, 1990, 312 с.
2. Заславский Г.М., Сагдеев Р.З. Введение в нелинейную физику. М.,1988.
3. Заславский Г.М. Стохастичность динамических систем.М., 1984.
4. Ю. И. Наймарк, П. С. Ланда. Стохастические и хаотические колебания. 1987.
5. М.И.Рабинович, Д.И.Трубецков. Введение в теорию колебаний и волн. М., Наука, 1984.
6. Пригожин И. От существующего к возникающему. М., 1980.
7. Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса: Новый диалог человека с природой. М.,1986.

Перечень рекомендуемых средств диагностики и методика формирования итоговой оценки

Для текущего контроля качества усвоения знаний по дисциплине рекомендуется использовать:

- устный опрос;
- отчет по лабораторным работам;
- реферат.

Контрольные мероприятия проводятся в соответствии с учебно-методической картой дисциплины. В случае неявки на контрольное мероприятие по уважительной причине студент вправе по согласованию с преподавателем выполнить его в дополнительное время. Для студентов, получивших неудовлетворительные оценки за контрольные мероприятия, либо не явившихся по неуважительной причине, по согласованию с

преподавателем и с разрешения заведующего кафедрой мероприятие может быть проведено повторно.

Оценка текущей успеваемости рассчитывается как среднее оценок за все виды текущего контроля.

Формирование оценки за текущую успеваемость:

- опрос – 20%;
- отчет по лабораторным работам – 60%;
- реферат – 20%.

Формой текущей аттестации по дисциплине «Нелинейная физика» учебным планом предусмотрен зачет.

Примерный перечень заданий для управляемой самостоятельной работы студентов

Тема3. Сценарий Фейгенбаума перехода к хаосу.

1. Стохастизация в гамильтоновых системах.
2. Канонические преобразования и переменные действие-угол.
3. Отображение «зуб пилы».

Форма контроля - устный опрос, реферат

Тема5. Переход к хаосу по сценарию Рюэля, Таккенса, Ньюхауса.

1. Двумерные отображения, сохраняющие площадь. Подкова Смейла.
2. Структурная устойчивость и грубость по Понтрягину.
3. Понятие гипер-хаотических режимов.

Форма контроля - устный опрос, реферат

Примерная тематика лабораторных работ

1. Введение в систему компьютерной алгебры Mathematica.
2. Линейный и нелинейный анализ устойчивости для динамических систем.
3. Аналитические методы в теории колебаний.
4. Численный анализ свойств систем с хаотической динамикой.
5. Фракталы и их свойства.

Описание инновационных подходов и методов к преподаванию учебной дисциплины

При организации образовательного процесса по дисциплине используются:

- *метод группового обучения*, который представляет собой форму организации учебно-познавательной деятельности студентов, предполагающую функционирование разных типов малых групп, работающих как над общими, так и специфическими учебными заданиями;

- **метод учебной дискуссии**, который предполагает участие студентов в целенаправленном обмене мнениями, идеями для предъявления и/или согласования существующих позиций по определенной проблеме. Использование метода обеспечивает появление нового уровня понимания изучаемой темы, применение знаний (теорий, концепций) при решении проблем, определение способов их решения.

Методические рекомендации по организации и выполнению самостоятельной работы студентов

Основой методики организации самостоятельной работы студентов по учебной дисциплине является предоставление студентам необходимой для работы информации, а также обеспечение регулярных консультаций преподавателя и периодичной отчетности по различным видам учебной и самостоятельной деятельности.

В открытом доступе для студентов размещается следующая информация:

- программа курса с указанием основной и дополнительной литературы;
- учебно-методические материалы;
- график консультаций преподавателя;
- вопросы для проведения зачета.

Примерный перечень вопросов к зачету

1. Движение в фазовом пространстве, понятие о потоке.
2. Гамильтоновы системы.
3. Теорема Лиувилля.
4. Переменные действие-угол, пример - гармонический осциллятор.
5. Уравнение Лиувилля.
6. Теория КАМ.
7. Эргодичность и перемешивание.
8. Биллиарды Синая.
9. Диффузия Арнольда.
10. Аттракторы в динамических системах.
11. Грубые и негрубые системы.
12. Ветвление решений алгебраических уравнений.
13. Классификация бифуркаций стационарной точки.
14. Суб- и суперкритическая бифуркации.
15. Элементарная теория устойчивости ДУ.
16. Показатели Ляпунова.
17. Бифуркация Хопфа.
18. Сценарий Фейгенбаума перехода к хаосу
19. Понятие о режиме перемежаемости.
20. Метод Ван-дер-Поля.

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УВО

Название дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменении в содержании учебной программы по изучаемой учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей уч. программу (с указанием даты и номера протокола)

**ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ
ПО ИЗУЧАЕМОЙ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**

на ____ / ____ учебный год

№№ Пп	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры
компьютерного моделирования
(протокол № ____ от _____ 20__ г.)

Заведующий кафедрой
компьютерного моделирования
к.ф.-м.н., доцент

_____ О.Г. Романов

УТВЕРЖДАЮ
Декан физического факультета
к.ф.-м.н., доцент

_____ М.С. Тиванов