

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского»**

Физический факультет

УТВЕРЖДЕНО
решением Ученого совета ННГУ
протокол № 10 от 02.12.2024 г.

Рабочая программа дисциплины

Нелинейные колебания

Уровень высшего образования
Бакалавриат

Направление подготовки / специальность
03.03.02 - Физика

Направленность образовательной программы
Физика конденсированного состояния

Форма обучения
очная

г. Нижний Новгород

2025 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.1.08 Нелинейные колебания относится к части, формируемой участниками образовательных отношений образовательной программы.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства	
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
<i>ПК-1: Способен использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин</i>	<i>ИД ПК-1: Демонстрация способности использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин</i>	<i>ИД ПК-1: Знание и понимание возможностей использования методов теории нелинейных колебаний Умение применять в рамках профессиональной деятельности методы и подходы теории нелинейных колебаний Владение навыками использования точных и приближенных методов теории нелинейных колебаний для решения профессиональных задач</i>	<i>Задачи</i>	<i>Экзамен: Контрольные вопросы Задачи</i>

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
Общая трудоемкость, з.е.	5
Часов по учебному плану	180
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	32
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	32
- КСР	2
самостоятельная работа	69
Промежуточная аттестация	45 Экзамен

3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе			
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них			Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа (практические занятия/лабораторные работы), часы	Всего	
Ф	Ф	Ф	Ф	Ф	
Классификация положений равновесия на плоскости	9	2	2	4	5
Предельные циклы	8	2	2	4	4
Гамильтоновские системы. Канонические преобразования	8	2	2	4	4
Каноническая теория возмущений	8	2	2	4	4
Резонансная теория возмущений	18	4	4	8	10
Системы с дискретным временем	12	3	3	6	6
Корреляционная функция. Отображение пекаря	12	3	3	6	6
Двумерное отображение	16	4	4	8	8
Системы с дельта-толчками	16	4	4	8	8
Эффекты дискретизации	8	2	2	4	4
Странные аттракторы	8	2	2	4	4
Способы диагностики хаоса	10	2	2	4	6
Аттестация	45				
КСР	2			2	
Итого	180	32	32	66	69

Содержание разделов и тем дисциплины

1. Классификация положений равновесия на плоскости.

Определение устойчивости по линейному приближению. Основные типы положений равновесия – центр, фокус, седло, узел. Учет нелинейных членов. Комбинированные типы положений равновесия

2. Предельные циклы.

Понятие предельного цикла. Автоколебания. Примеры физических систем, реализующих автоколебания.

3. Гамильтоновские системы. Канонические преобразования.

Преобразования переменных в гамильтоновой форме механики. Канонические уравнения Гамильтона. Переменные действие-угол.

4. Каноническая теория возмущений.

Приближенные методы классической механики. Каноническая теория возмущений для систем с одной степенью свободы. Нелинейные поправки к частоте. Каноническая теория возмущений в многомерном случае, проблемы сходимости, резонансные знаменатели.

5. Резонансная теория возмущений.

Понятие нелинейного резонанса. Нелинейный резонанс в системе с двумя степенями свободы (резонанс связи). Ширина резонанса, частота малых колебаний. Нелинейный резонанс в системах с полутора степенями свободы. Перекрытие резонансов.

6. Системы с дискретным временем.

Примеры одномерных систем с дискретным временем. Положения равновесия. Лестница Ламерея. Отображение с бифуркацией удвоения периода. Отображение Фейгенбаума.

7. Корреляционная функция. Отображение пекаря.

Метод анализа систем с дискретным временем. Переход к хаосу через перемешивание.

8. Двумерное отображение.

Примеры двумерных систем с дискретным временем. Материальная точка в канале с гофрированной границей. Резонансная структура фазового пространства.

9. Системы с дельта-толчками.

Ротатор с дельта-толчками. Отображение Чирикова-Тейлора. Гармонический осциллятор с дельта-толчками. Отображение-паутина.

10. Эффекты дискретизации.

Дискретизация дифференциальных уравнений как источник хаоса.

11. Странные аттракторы.

Аттрактор Лоренца. Положения равновесия и их устойчивость. Понятие детерминированного хаоса. Эффект бабочки.

12. Способы диагностики хаоса.

Проблема диагностирования хаоса. Метод фазовой плоскости, метод псевдофазового пространства. Сечения Пуанкаре. Корреляционная функция. Фурье-анализ. Показатели Ляпунова.

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

Самостоятельная работа студента – неотъемлемая часть подготовки высококвалифицированного специалиста в соответствующей области. Ее цель – формирование у студентов способностей и навыков к непрерывному самообразованию и профессиональному совершенствованию. Самостоятельная работа студентов подразумевает проработку лекционного и дополнительного материала, решение домашних заданий с последующей проверкой навыков решения задач. Проработка лекционного материала осуществляется еженедельно после проведения аудиторных занятий в рамках часов, отведенных студентам на самостоятельную работу. Кроме того, работа с лекционным и дополнительным материалом (рекомендованной литературой, приведенной в конце данной программы) проводится в период сессии при подготовке к экзамену по дисциплине.

5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:

5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ПК-1:

1. Определить типы положений равновесия системы с функцией Гамильтона $H = \cos(p)\cos(x)$, исследовать их на устойчивость.
2. Ввести переменные действие-угол для частицы, движущейся в прямоугольной потенциальной яме ширины a .
3. Найти нелинейную поправку к частоте колебаний математического маятника, обусловленную ангармонизмом колебаний.

Критерии оценивания (оценочное средство - Задачи)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Демонстрация умений, знаний и навыков на уровне, достаточном для успешного и полного решения задачи.
не зачтено	Отсутствие каких-либо умений, знаний и навыков решения задач или же их демонстрация на фрагментарном уровне

5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено			зачтено			
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые	Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены

	обучающегося от ответа	ошибки	ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	задачи с отдельным и несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие базовых навыков. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторым и недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторым и недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

Шкала оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой
	отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
	удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
	плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:

5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-1

1. Классификация положений равновесия на плоскости
2. Автоколебания. Предельные циклы
3. Динамика гамильтоновских систем. Канонические преобразования
4. Переменные действие-угол.
5. Нелинейный сдвиг частоты
6. Каноническая теория возмущений для одномерной системы
7. Каноническая теория возмущений для многомерной системы
8. Резонансная теория возмущений. Резонанс связи двух степеней свободы (внутренний резонанс).
9. Резонансная теория возмущений. Резонанс одномерной системы с внешним полем.
10. Характеристики нелинейного резонанса (ширина, частота малых колебаний). Перекрытие резонансов, критерий Чирикова.
11. Стационарные точки отображений и их устойчивость. Бифуркация удвоения периода.
12. Переход к хаосу через перемешивание. Корреляционная функция.
13. Луч света в гофрированном волноводе: двумерное отображение, структура фазовой плоскости.
14. Стандартное отображение.
15. Отображение-паутина.
16. Методы диагностики хаоса.
17. Аттрактор Лоренца

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Обучающийся демонстрирует выдающийся уровень знаний базовых понятий, положений с обоснованиями, демонстрирует устойчивые практические навыки решения задач, в том числе задач повышенной сложности
отлично	Обучающийся демонстрирует высокий уровень знаний базовых понятий, положений с обоснованиями, демонстрирует устойчивые практические навыки решения задач, в том числе задач повышенной сложности
очень хорошо	Обучающийся демонстрирует знание базовых понятий, положений с обоснованиями, демонстрирует устойчивые практические навыки решения задач
хорошо	Обучающийся демонстрирует знание базовых понятий, положений с обоснованиями, демонстрирует практические навыки решения простых задач
удовлетворительно	Обучающийся демонстрирует знание только базовых понятий, положений без их обоснования, демонстрирует практические навыки решения лишь самых простых задач
неудовлетворительно	Обучающийся демонстрирует фрагментарные знания об основных разделах курса, не показывает каких-либо практических навыков решения основных задач
плохо	Обучающийся не демонстрирует базовых знаний об основных разделах курса, не показывает каких-либо практических навыков решения основных задач

5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ПК-1

1. Определить нелинейную поправку к частоте колебаний бусинки в поле тяжести, скользящей без трения по проволочке, изогнутой в форме параболы: $y = \alpha x^2$.
2. Найти значение параметра λ , при котором произойдет первое удвоение периода в системе: $x_{n+1} = \lambda x_n (1 - x_n^2)$.
3. Оценить критическую величину амплитуды малого возмущения a , при которой происходит перекрытие резонансов в механической системе с гамильтонианом: $H(I, \theta) = AI^{3/2} - \alpha(\cos(\theta - \Omega_1 t) + \cos(\theta - \Omega_2 t))$, где A , Ω_1 и Ω_2 – заданные параметры.

Критерии оценивания (оценочное средство - Задачи)

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Обучающийся демонстрирует выдающийся уровень знаний в самостоятельном изложении всех теоретических положений курса и их обосновании, отвечает на дополнительные и уточняющие вопросы
отлично	Обучающийся демонстрирует высокий уровень знаний в самостоятельном изложении всех теоретических положений курса и их обосновании, отвечает на дополнительные и уточняющие вопросы
очень хорошо	Обучающийся демонстрирует связное изложение всех теоретических положений курса и их обоснования, но не отвечает на дополнительные и уточняющие вопросы
хорошо	Обучающийся демонстрирует связное изложение всех теоретических положений курса и их обоснования с незначительными наводящими вопросами
удовлетворительно	Обучающийся демонстрирует изложение только формулировок основных теоретических положений курса без их обоснования и с использованием наводящих вопросов
неудовлетворительно	Обучающийся демонстрирует фрагментарные знания об основных теоретических разделах курса, путается в определениях
плохо	Обучающийся не демонстрирует никаких знаний об основных теоретических разделах курса

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

Основная литература:

1. Бурдов Владимир Анатольевич. Избранные вопросы теории нелинейных колебаний : метод. разраб. для студентов физ. фак., обучающихся по направлению подготовки "Физика" / В. А. Бурдов ; Нижегород. гос. ун-т им. Н. И. Лобачевского. - Нижний Новгород : Изд-во Нижегород. ун-та, 2006. - 94 с., 40 экз.
2. Андронов Александр Александрович. Теория колебаний / с предисл. Л. И. Мандельштама. - 2-е

изд. - М. : Наука, 1981. - 568 с. : ил. - 2.60., 274 экз.

3. Малышев А. И. Избранные главы теории нелинейных колебаний: двумерные отображения : учебно-методическое пособие / Малышев А. И. - Нижний Новгород : ННГУ им. Н. И. Лобачевского, 2012. - 26 с. - Рекомендовано методической комиссией физического факультета для студентов ННГУ, обучающихся по направлению 011200 «Физика». - Библиогр.: доступна в карточке книги, на сайте ЭБС Лань. - Книга из коллекции ННГУ им. Н. И. Лобачевского - Физика., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=729690&idb=0>.

4. Малышев А. И. Избранные главы теории нелинейных колебаний: резонансная теория возмущений : учебно-методическое пособие / Малышев А. И. - Нижний Новгород : ННГУ им. Н. И. Лобачевского, 2012. - 21 с. - Рекомендовано методической комиссией физического факультета для студентов ННГУ, обучающихся по направлению 011200 «Физика». - Библиогр.: доступна в карточке книги, на сайте ЭБС Лань. - Книга из коллекции ННГУ им. Н. И. Лобачевского - Физика., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=730135&idb=0>.

5. Кузнецов Александр Петрович. Нелинейные колебания : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по физическим специальностям. - М. : Физматлит, 2002. - 292 с. - (Современная теория колебаний и волн). - В надзаг.: Федеральная целевая программа "Гос. поддержка интеграции высш. образования и фундам. науки". - ISBN 5-94052-058-8 : 35.00., 9 экз.

Дополнительная литература:

1. Алдошин Г. Т. Теория линейных и нелинейных колебаний / Алдошин Г. Т. - 2-е изд., стер. - Санкт-Петербург : Лань, 2022. - 320 с. - Рекомендовано НМС по теоретической механике в качестве учебного пособия для студентов и аспирантов физико-технических высших учебных заведений. - Книга из коллекции Лань - Физика. - ISBN 978-5-8114-1460-4., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=799845&idb=0>.

2. Заславский Георгий Моисеевич. Стохастичность динамических систем. - М. : Наука, 1984. - 271 с. : ил. - (Современные проблемы физики). - 2.20., 2 экз.

3. Кузнецов Сергей Петрович. Динамический хаос : курс лекций : учеб. пособие для студентов вузов. - М. : Физматлит, 2001. - 296 с. : ил. - (Современная теория колебаний и волн). - Федер. целевая программа "Гос. поддержка интеграции высш. образования и фундам. науки". - ISBN 5-94052-044-8 : 30.00., 46 экз.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

Подборка литературы по тематике дисциплины на сайте "Саратовской группы теоретической нелинейной динамики" <https://sgtnd.narod.ru/pabl/rus/index.htm> (открытый доступ)

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения.

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

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки/специальности 03.03.02 - Физика.

Автор(ы): Малышев Александр Игоревич, кандидат физико-математических наук, доцент.

Заведующий кафедрой: Бурдов Владимир Анатольевич, доктор физико-математических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 30.11.2024, протокол № б/н.