

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

<b>Код модуля</b>	<b>Модуль</b>
1155939	Теория колебаний

Екатеринбург

<b>Перечень сведений о рабочей программе модуля</b>	<b>Учетные данные</b>
<b>Образовательная программа</b> 1. Физика	<b>Код ОП</b> 1. 03.03.02/33.01
<b>Направление подготовки</b> 1. Физика	<b>Код направления и уровня подготовки</b> 1. 03.03.02

Программа модуля составлена авторами:

<b>№ п/п</b>	<b>Фамилия Имя Отчество</b>	<b>Ученая степень, ученое звание</b>	<b>Должность</b>	<b>Подразделение</b>
1	Тебеньков Александр Владимирович	кандидат физико- математических наук, без ученого звания	Доцент	физики конденсированного состояния и наноразмерных систем

**Согласовано:**

Управление образовательных программ

Е.С. Комарова

# 1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МОДУЛЯ Теория колебаний

## 1.1. Аннотация содержания модуля

Задачи курса сводятся к изучению основных колебательно-волновых явлений на простых моделях и системах, а также обучению использованию основных методов теории колебаний (методы фазового пространства - качественные методы на фазовой плоскости, метод точечных отображений; асимптотические методы, связанные с усреднением; методы разрывных колебаний и волн; методы, связанные с использованием ЭВМ).

## 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	Теория колебаний	3
ИТОГО по модулю:		3

## 1.3. Последовательность освоения модуля в образовательной программе

<b>Пререквизиты модуля</b>	1. Математические основы профессиональной деятельности 2. Общая физика 3. Теоретическая физика
<b>Постреквизиты и кореквизиты модуля</b>	Не предусмотрены

## 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
Теория колебаний	ОПК-1 - Способен использовать фундаментальные знания, полученные в области математических и естественных наук, в	З-1 - Демонстрировать понимание основных закономерностей, законов, теорий математики, их взаимосвязь с другими дисциплинами З-2 - Интерпретировать основные теоретические положения фундаментальных разделов естественных наук, необходимые

<p>профессиональной деятельности</p>	<p>для освоения компетенций по профилю деятельности</p> <p>У-1 - Определять пути решения задач профессиональной деятельности, опираясь на знания основных закономерностей, законов, теории математики</p> <p>У-2 - Анализировать результаты наблюдений и экспериментов с использованием знаний фундаментальных разделов естественных наук и объективных законов природы</p> <p>П-1 - Демонстрировать навыки применения простейших математических теорий и моделей для решения задач профессиональной деятельности</p> <p>П-2 - Демонстрировать навыки использования основных естественнонаучных законов, теорий и принципов в важнейших практических приложениях</p> <p>Д-1 - Демонстрировать навыки самообразования</p>
<p>ПК-1 - Способен использовать знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач в области физики магнитных явлений, медицинской и теоретической физики, физики конденсированного состояния</p>	<p>З-1 - Знать основные методы теоретических и экспериментальных физических исследований</p> <p>У-1 - Самостоятельно формулировать задачу в рамках рассматриваемой проблемы</p> <p>П-1 - Предлагать использование методов теоретических и экспериментальных физических исследований при решении поставленных задач</p>
<p>ПК-2 - Способен создавать математические модели типовых профессиональных задач и интерпретировать полученные результаты с учетом границ применимости моделей</p>	<p>З-1 - Сделать обзор основных методов физического, математического и алгоритмического моделирования, применимых для формализации и решения задач в области профессиональной деятельности</p> <p>У-1 - Определять оптимальные методы физического, математического и алгоритмического моделирования при</p>

		решении задач в области профессиональной деятельности  П-1 - Предлагать и разрабатывать методы физического, математического и алгоритмического моделирования при решении поставленных задач в области профессиональной деятельности
--	--	---

### **1.5. Форма обучения**

Обучение по дисциплинам модуля может осуществляться в очной формах.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Теория колебаний**

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

<b>№ п/п</b>	<b>Фамилия Имя Отчество</b>	<b>Ученая степень, ученое звание</b>	<b>Должность</b>	<b>Подразделение</b>
1	Вилисова Елена Анатольевна	кандидат физико-математических наук, без ученого звания	Доцент	физики конденсированного состояния и наноразмерных систем
2	Зырянова Наталья Павловна	кандидат физико-математических наук, доцент	Доцент	Департамент фундаментальной и прикладной физики
3	Тебеньков Александр Владимирович	кандидат физико-математических наук, без ученого звания	Доцент	физики конденсированного состояния и наноразмерных систем

**Рекомендовано учебно-методическим советом института Естественных наук и математики**

Протокол № 1 от 18.01.2021 г.

# 1. СОДЕРЖАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ

Авторы:

- Вилисова Елена Анатольевна, Доцент, физики конденсированного состояния и наноразмерных систем
- Зырянова Наталья Павловна, Доцент, Департамент фундаментальной и прикладной физики
- Тебеньков Александр Владимирович, Доцент, физики конденсированного состояния и наноразмерных систем

## 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	Предмет теории колебаний. Классификация колебательных процессов	Примеры колебательных систем и колебательных процессов. Периодические и непериодические процессы. Гармоническое колебание. Его характеристики. Число степеней свободы колебательной системы. Системы с распределёнными параметрами. Типы колебательных процессов (свободные, вынужденные, параметрические колебания, автоколебания). Линейные и нелинейные колебательные системы. Активные и пассивные колебательные системы. Автономные и неавтономные системы.
P2	Малые свободные колебания. Фазовый портрет колебательной системы	Незатухающие колебания колебательных систем с одной степенью свободы. Уравнение линейного гармонического осциллятора, его решение. Фазовая плоскость, изображающая точка, фазовая траектория. Фазовый портрет динамической системы. Фазовая скорость. Определение особой точки фазовой траектории. Особая точка типа «центр». Построение фазового портрета методом изоклин. Неколебательное движение динамической системы вблизи положения неустойчивого равновесия. Особая точка типа «седло».  Затухающие колебания колебательных систем с одной степенью свободы. Уравнение линейного осциллятора с

		<p>затуханием (случай вязкого трения). Затухающий осцилляторный процесс. Характеристики затухания (коэффициент затухания, логарифмический декремент, добротность). Добротность осцилляторов (механических, электрических, оптических). Фазовый портрет затухающих колебаний осциллятора. Аперриодический процесс. Фазовый портрет аперриодического процесса. Особые точки типа «устойчивый фокус» и «устойчивый узел». Критический режим.</p> <p>Графические методы представления колебаний: метод осциллограмм, метод фазовой плоскости, метод векторных диаграмм, спектральный метод.</p> <p>Примеры систем с «отрицательным трением». Нарастающий осцилляторный процесс. Логарифмический инкремент нарастания. Нарастающий аперриодический процесс. Особые точки типа «неустойчивый фокус» и «неустойчивый узел».</p> <p>Классификация фазовых портретов и особых точек (для систем с одной степенью свободы). Комбинированные типы особых точек в трёхмерном фазовом пространстве.</p>
<b>P3</b>	Линейные и нелинейные колебательные системы	<p>Нелинейность в природе. Линейные и нелинейные дифференциальные уравнения. Условия линеаризации колебательных процессов. Некоторые методы решения нелинейных задач: метод поэтапного рассмотрения, метод фазовых траекторий, метод медленно меняющихся амплитуд, метод возмущений и др.</p> <p>Следствия нелинейности (возникновение высших гармоник, смещение точки равновесия, неизохронность). Математический маятник как простейшая нелинейная колебательная система. Фазовый портрет нелинейного математического маятника (консервативный и неконсервативный случай). Затухающие колебания в системах с сухим трением.</p>
<b>P4</b>	Вынужденные колебания	<p>Силовое и параметрическое воздействие. Влияние интенсивности силового воздействия на линейность системы. Уравнение вынужденных колебаний. Метод комплексных амплитуд. Частота и начальная фаза вынужденных колебаний. Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) и фазочастотная характеристика (ФЧХ). Явление резонанса. Добротность колебательной системы. Лоренцевый контур. Полоса пропускания колебательной системы. Квазистатический режим колебаний (медленные колебания). Режим быстрых колебаний. Резонанс скоростей и ускорений. Фазовый портрет вынужденных колебаний. Вынужденные колебания в нелинейных системах. Случай слабой нелинейности. Метод гармонического баланса. Амплитудно-частотная характеристика для консервативных и неконсервативных систем. Скачки амплитуды через физически нереальную область. Явление гистерезиса. АЧХ для систем с жёсткой и мягкой нелинейностью.</p>
<b>P5</b>	Параметрические колебания	<p>Параметрическое возбуждение, параметрические колебания, параметрический резонанс. Раскачивание качелей. Маятник</p>



		<p>переменной длины. Глубина модуляции параметра. Неограниченное нарастание амплитуды колебаний. Фазовый портрет параметрического раскачивания маятника. Параметрическое возбуждение колебаний в колебательном контуре. Периодическая модуляция параметра. Энерговложение в колебательную систему при параметрической «накачке». Емкостная параметрическая машина. Условия параметрического резонанса.</p> <p>Математическое описание параметрического резонанса в линейных колебательных системах. Уравнение Матье. Области параметрического возбуждения (параметрической неустойчивости) для консервативных и диссипативных систем. Амплитудно-частотная характеристика параметрического резонанса, сопоставление с АЧХ силового резонанса. Нелинейные параметрические колебания. Ограничение амплитуды колебаний. Сопоставление свойств силового и параметрического резонансов. Парадоксальные опыты по наблюдению стабилизации неустойчивого состояния равновесия.</p> <p>Использование параметрического возбуждения в электрических схемах (параметрические усилители, генераторы, преобразователи).</p> <p>Нежелательные параметрические колебания в механических системах.</p>
Р6	Автоколебательные системы	<p>Автоколебания. Принцип работы автоколебательных систем.</p> <p>Механические часы с маятником. Установившиеся стационарные колебания. Фазовый портрет. Предельный цикл на фазовой плоскости. Независимость амплитуды колебаний от начальных условий.</p> <p>Маятник Фроуда. Условие самовозбуждения колебаний. Предельный цикл.</p> <p>Генератор электромагнитных колебаний. Генератор с индуктивной обратной связью. Возникновение установившихся автоколебаний. Математическое описание. Условие самовозбуждения колебаний в генераторе. Амплитуда стационарных колебаний.</p> <p>Использование автоколебаний в технике. Негативные автоколебания.</p>
Р7	Колебательные системы со многими степенями свободы	<p>Правило определения числа степеней свободы в механических и электрических системах. Парциальные системы. Общее правило выделения парциальных систем. Парциальные частоты. Примеры разбиения сложных колебательных систем на парциальные системы.</p> <p>Колебательная система с двумя степенями свободы. Нормальные колебания (моды). Нормальные частоты. Коэффициент распределения амплитуд. Система двух связанных пружинных маятников. Случай близких нормальных частот. Биения. Случай сильно различающихся нормальных частот. Определение нормальных частот через</p>

		<p>парциальные частоты. Вынужденные колебания двух связанных осцилляторов.</p> <p>Колебательная система с <math>N</math> степенями свободы. Связанные колебания в нагруженной струне. Дисперсионное соотношение.</p>
<b>P8</b>	Распределённые колебательные системы	Волновое уравнение. Двухпроводная линия. Телеграфные уравнения. Волновое сопротивление линии. Фазовая скорость волны в линии.
<b>P9</b>	Хаотические колебания	Динамические и стохастические системы. Стохастические и хаотические колебания. Признаки хаотичности. Аттракторы. Странный аттрактор. Фрактальные множества, фракталы.
<b>P10</b>	Классификация волновых процессов	<p>Понятие сигнала. Линейные и нелинейные волны. Гиперболические волны. Волновое уравнение. Решения волнового уравнения. Скорость распространения волны. Примеры волновых процессов. Плоские монохроматические волны.</p> <p>Звуковые волны в жидкостях и газах. Линейное приближение. Число Маха. Диссипативные процессы. Неоднородные волны. Дисперсия волн. Метод слабо изменяющейся амплитуды. Эволюция профиля волны в вязкой жидкости. Звуковые волны в твердых телах. Продольные и поперечные волны. Электромагнитные волны в проводящих средах. Поляризация поперечных волн. Волны в релаксирующих средах.</p>
<b>P11</b>	Распространение волн в среде с дисперсией	Закон дисперсии. Волновой пакет. Модулированные сигналы. Разложение сигнала в спектр. Метод медленно изменяющейся амплитуды. Амплитудная модуляция. Несущая частота. Групповая и фазовая скорости сигнал. Нормальная и аномальная дисперсия. Высшие приближения. Эволюция огибающей группы волн. Энергия, переносимая волной.
<b>P12</b>	Распространение волн в слабонелинейных средах	<p>Классификация типов нелинейности на примере нелинейных оптических явлений.</p> <p>Нелинейная поляризация среды. Возникновение поляризации среды на комбинированных частотах. Самофокусировка и дефокусировка света в нелинейном диэлектрике. Материалы нелинейной оптики. Анализ генерации второй гармоники методом медленно изменяющейся амплитуды. Взаимодействие двух волн. Условие фазового синхронизма. Перекачка энергии волны во вторую гармонику. Параметрические генераторы света.</p>
<b>P13</b>	Нелинейные волновые процессы	<p>Нелинейные эффекты в среде со слабой дисперсией. Процесс опрокидывания волны. Влияние диссипативных процессов на процесс дисперсионного укручивания волны. Распространение звуковой волны в вязких средах Уравнение Бюргерса. Образование пилообразных волн. Решение уравнения Бюргерса в виде ударной волны. Число Рейнольдса. Связь числа Рейнольдса с шириной фронта ударной волны и ее спектром.</p> <p>Гравитационные волны на поверхности воды. Уравнение Кортевега – де Фриза.</p>

		Решение уравнения Кортевега-де Фриза в виде уединенной волны. Солитоны. Связь скорости распространения солитона с его амплитудой. Связь уравнения Кортевега- де Фриза и уравнения Шредингера. Понятие о методе обратной задачи.
<b>P14</b>	Распространение волн в ограниченных средах	Распространение упругих волн в ограниченных средах. Поверхностные волны. Волны Рэлея и Лэмба. Поляризация поверхностных волн.

### 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	профориентационная деятельность	Технология самостоятельной работы	ПК-1 - Способен использовать знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач в области физики магнитных явлений, медицинской и теоретической физики, физики конденсированного состояния	У-1 - Самостоятельно формулировать задачу в рамках рассматриваемой проблемы

1.4. Программа дисциплины реализуется на государственном языке Российской Федерации .

## 2. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### Теория колебаний

#### Электронные ресурсы (издания)

- Горелик, Г. С.; Колебания и волны : учебное пособие.; Физматлит, Москва; 2007; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=68389> (Электронное издание)
- Андронов, А. А., Железцов, Н. А.; Теория колебаний; Наука, Москва; 1981; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=123658> (Электронное издание)
- Перунова, М., М.; Колебания и волны : учебное пособие.; Оренбургский государственный университет, Оренбург; 2012; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=259216> (Электронное издание)

### Печатные издания

1. Новиков, Л. Н., Породнов, Б. Т.; Колебания и волны : учеб. пособие.; [УГТУ-УПИ], Екатеринбург; 2006 (10 экз.)
2. Валишев, М. Г., Повзнер, А. А., Сидоренко, Ф. А.; Физика : учеб. пособие. Ч. 4. Колебания и волны; УГТУ-УПИ, Екатеринбург; 2006 (400 экз.)
3. Ильин, М. М., Колесников, К. С., Колесников, К. С., Саратов, Ю. С.; Теория колебаний : Учебник для студентов вузов, обучающихся по направлению подгот. дипломир. специалистов в обл. машиностроения и приборостроения.; Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва; 2001 (10 экз.)
4. Инфельд, Инфельд Э., Роуландс, Роуландс Д., Кузнецов, Е. А.; Нелинейные волны, солитоны и хаос; ФИЗМАТЛИТ, Москва; 2005 (1 экз.)
5. Карлов, Н. В., Кириченко, Н. А.; Колебания, волны, структуры; ФИЗМАТЛИТ, Москва; 2003 (6 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

## 3. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### Теория колебаний

Сведения об оснащенности дисциплины специализированным и лабораторным оборудованием и программным обеспечением

Таблица 3.1

№ п/п	Виды занятий	Оснащенность 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 Периферийное устройство	Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM Office 365 EDUA5 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES

		Подключение к сети Интернет	
2	Практические занятия	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов  Рабочее место преподавателя  Доска аудиторная	<b>Не требуется</b>
3	Консультации	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов  Рабочее место преподавателя  Доска аудиторная	<b>Не требуется</b>
4	Текущий контроль и промежуточная аттестация	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов  Персональные компьютеры по количеству обучающихся  Подключение к сети Интернет	Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM  Office 365 EDUA5 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES
5	Самостоятельная работа студентов	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов	<b>Не требуется</b>