

**Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Московский физико-технический институт  
(национальный исследовательский университет)»**

**УТВЕРЖДЕНО**

**Директор физтех-школы физики  
и исследований им. Ландау  
А.В. Рогачев**

	<b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>
<b>по дисциплине:</b>	Теория колебаний и волн
<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Физика и педагогика
	Физтех-школа физики и исследований им. Ландау
	центр образовательных программ ЛФИ
<b>курс:</b>	4
<b>квалификация:</b>	бакалавр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

7 (осенний) - Дифференцированный зачет

8 (весенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 120 всего, в том числе:

лекции: 60 час.

семинары: 60 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 60 час.

Всего часов: 180, всего зач. ед.: 4

Количество контрольных работ, заданий: 4

Программу составил: А.А. Пухов, д-р физ.-мат. наук, профессор

Программа обсуждена на заседании центр образовательных программ ЛФИ 20.02.2025

## Аннотация

Целью дисциплины "Теория колебаний и волн" является получение знаний об общих закономерностях колебательных и волновых процессов и их применения к различным системам физической, химической, биологической и прочей природы. Овладение дисциплиной подразумевает умение использовать эти знания для решения научно-исследовательских задач, при изучении фундаментальных физических процессов, лежащих в основе работы приборов и устройств, использующих колебательные и волновые процессы. Задачи дисциплины заключаются в ознакомлении студентов с основными понятиями и концепциями физики колебаний и волн; освоении базовых знаний в области взаимодействия колебаний и волн с различными системами, физических принципов действия современных колебательных и волновых устройств; приобретении навыков количественных оценок параметров, характеризующих свойства колебательных и волновых процессов. Перечисленные компетенции позволят студентам проводить собственные теоретические исследования в области физики колебаний и волн.

## 1. Цели и задачи

### Цель дисциплины

Целью дисциплины «Теория колебаний и волн» является получение знаний об общих закономерностях колебательных и волновых процессов и демонстрация применения физики колебаний и волн к различным системам физической, химической, биологической и проч. природы. Овладение дисциплиной подразумевает умение использовать эти знания на практике для решения научно-исследовательских задач, при изучении фундаментальных физических процессов и основных идей, лежащих в основе работы многочисленных приборов и устройств, работающих на основе физики колебательных и волновых процессов.

### Задачи дисциплины

- ознакомление студентов с основными понятиями и концепциями физики колебаний и волн;
- освоение студентами базовых знаний в области взаимодействия колебаний и волн с различными системами; физических принципов усиления колебаний и волн, принципов действия современных колебательных и волновых устройств;
- приобретение навыков количественных оценок основных параметров, характеризующих свойства колебательных и волновых процессов;
- оказание консультаций и помощи студентам в проведении собственных теоретических исследований в области физики колебаний и волн.

## 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1 Анализирует задачу, выделяя этапы ее решения, действия по решению задачи
	УК-1.2 Находит, критически анализирует и выбирает информацию, необходимую для решения поставленной задачи
	УК-1.3 Рассматривает различные варианты решения задачи, оценивает их преимущества и недостатки
	УК-1.4 Грамотно, логично, аргументированно формирует собственные суждения и оценки
	УК-1.5 Определяет и оценивает практические последствия возможных вариантов решения задачи
УК-6 Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни	УК-6.2 Способен планировать самостоятельную деятельность в решении профессиональных задач; подвергать критическому анализу проделанную работу; находить и творчески использовать имеющийся опыт в соответствии с задачами саморазвития
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физики, математики и (или)	ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения

области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки
ОПК-4 Способен осуществлять сбор и обработку научно-технической и (или) технологической информации для решения фундаментальных и прикладных задач	ОПК-4.1 Владеет методами научного поиска и интеллектуального анализа информации при решении задач профессиональной деятельности
	ОПК-4.4 Владеет навыками работы с компьютером и компьютерными сетями с целью получения, хранения и обработки научной (технической, технологической) информации
ПК-2 Способен анализировать полученные в ходе научно-исследовательской работы данные и делать научные выводы (заключения)	ПК-2.1 Владеет методами статистической обработки и анализа научных данных
ПК-4 Способен критически оценивать применимость используемых методик и методов	ПК-4.1 Знает численные порядки величин, характерных для соответствующей профессиональной области

### 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- основные свойства динамических колебательных и волновых систем;
- фундаментальные понятия, законы и этапы развития колебательной и волновой физики;
- основные закономерности возбуждения колебаний и генерации волн, формирования установившихся колебаний и волновых пакетов, основные результаты теории возмущений в приложении к физике колебаний и волн, основные свойства и параметры колебательных и волновых систем различной природы, основные методы создания высокочастотных колебаний и незатухающих волн;
- порядки численных величин, характерные для различных разделов физики колебаний и волн.

уметь:

- абстрагироваться от несущественных влияний при моделировании реальных физических ситуаций методами теории колебаний и волн;
- квалифицированно использовать полученные знания для решения простейших практических задач физики колебаний и волн;
- производить численные оценки по порядку величины;
- видеть в технических задачах физическое содержание;
- осваивать новые предметные области и экспериментальные методики в области физики колебаний и волн;
- абстрагироваться от несущественного при моделировании реальных физических ситуаций;
- делать качественные выводы при переходе к предельным условиям в изучаемых проблемах.

владеть:

- аппаратом физики колебаний и волн для расчета простейших параметров колебательных и волновых систем;
- культурой постановки и моделирования физических задач в области физики колебаний и волн;
- навыками самостоятельной работы с учебной, научной и справочной литературой, ведения поиска и ориентирования в библиографии.

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

#### 4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа

1	Что такое колебания?	4	4		4
2	Линейный гармонический осциллятор.	6	6		6
3	Нелинейный осциллятор.	4	4		4
4	Параметрический резонанс.	4	4		4
5	Движение в быстроосциллирующем поле.	4	4		4
6	Автоколебания.	4	4		4
7	Синхронизация.	4	4		4
8	Что такое волны?	4	4		4
9	Резонаторы. Волноводы.	5	5		5
10	Энергия и импульс волн. Вектор Умова.	3	3		3
11	Волновые неустойчивости.	3	3		3
12	Волны в неоднородных и периодических средах.	3	3		3
13	Нелинейные волны в средах с дисперсией.	5	5		5
14	Нелинейные волны в активных и в диссипативных средах. Что такое синергетика?	7	7		7
Итого часов		60	60		60
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		180 час., 4 зач.ед.			

#### 4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 7 (Осенний)

##### 1. Что такое колебания?

Что такое колебания? Общефизическая «колебательная» терминология и язык. Динамические системы. Фазовая плоскость. Особые точки: фокус, седло, узел, центр. Зоопарк нелинейных систем различной природы. Уравнения боя Ланкастера. Соотношение между эффективностью оружия и численностью побеждающей армии. Система «хищник-жертва». Период колебаний численности популяций хищников и жертв. «Колебательная общность» и «нелинейное мышление».

##### 2. Линейный гармонический осциллятор.

Линейный гармонический осциллятор. Примеры из физики, химии, биологии. Осциллятор, как динамическая система. Осциллятор с сильной диссипацией. Гармонический отклик осциллятора. Векторная диаграмма. Амплитуды поглощения и дисперсии. Спектр. Резонанс. Линия Лоренца. Осциллятор под действием произвольной силы. Нормальные колебания, функция Грина. Связанные осцилляторы. Биения, фигуры Лиссажу. Нормальные моды и частоты. Гаситель колебаний, резонанс Фано.

##### 3. Нелинейный осциллятор.

Нелинейный осциллятор. Математический маятник. Неизохронность и ангармонизм. Движение по сепаратрисе. Зависимость частоты нелинейного осциллятора от амплитуды колебаний. Уравнение Дуффинга. Потенциал с двумя ямами. Бифуркация, спонтанное нарушение симметрии. Вынужденные колебания нелинейного осциллятора. Нелинейный резонанс. Гистерезис, устойчивость решения. Теорема вириала. Давление газа. Расширение Вселенной. Асимптотические методы: метод усреднения, метод перенормировки частоты и метод многих масштабов.

#### 4. Параметрический резонанс.

Осциллятор с изменяющимися параметрами. Мальчик на качелях. Уравнение Матье. Теорема Флоке-Блоха. Параметрический резонанс. Уравнение Матье с сильной (уровни осциллятора) и слабой (зоны Бриллюэна) модуляцией частоты. Медленное изменение параметров. Уравнение Хилла. Точность сохранения адиабатического инварианта. Квазиклассика. Движение в быстроосциллирующем поле. Разделение быстрых и медленных движений. Маятник Капицы. Устойчивые положения равновесия маятника Капицы. Инвертированный маятник. Нелинейный параметрический резонанс.

#### 5. Движение в быстроосциллирующем поле.

Автоколебания. Обратная связь. Предельный цикл. Уравнения Ван дер Поля и Релея. Ламповый генератор, лазер, реакция Белоусова. Квазигармонические автоколебания. Бифуркация Хопфа рождения цикла. Релаксационные колебания. Кубок Тантала, сифон. Жесткий режим возбуждения. Автоколебательная система под действием периодического возмущения. Синхронизация. Уравнение Адлера. Язык Арнольда. Автоколебания и хаос в лазере и генераторе.

#### 6. Автоколебания.

Стохастический резонанс. Переходы, индуцированные шумом. Стохастическое ускорение Ферми. Детерминированный хаос. Система Лоренца. Странный аттрактор. Энтропия КАМ. Сценарий Фейгенбаума, универсальные показатели бифуркации. Уравнения Ланжевена и Фоккера-Планка. Резервуар и природа диссипации.

#### 7. Синхронизация.

Квантовые колебания. Оптические уравнения Блоха. Осцилляции Раби. Оптическая нутация. Квантовые биения. Вектор Блоха и сфера Блоха. Приближение вращающейся волны. Сдвиг Блоха-Зигерта.

### Семестр: 8 (Весенний)

#### 8. Что такое волны?

Что такое волны: общезначимая «волновая» терминология и язык. Линейное волновое уравнение. Принцип суперпозиции. Общее решение волнового уравнения. Принцип Гюйгенса. Дисперсионное соотношение, групповая и фазовая скорости. Время жизни волнового пакета. Пространственная и временная дисперсии. Уравнение Клейна-Гордона. Волны в ограниченных системах, резонаторы. Дискретный спектр, стоячие волны. Фигуры Хладни. Волны в плазме. Уравнение Власова. Ленгмюровские колебания. Плазмоны. Затухание Ландау.

#### 9. Резонаторы. Волноводы.

Кинематика волн. Энергия и импульс волн. Вектор Умова. Предвестники Зоммерфельда и Бриллюэна. Волновые неустойчивости: конвективная, Релея-Тейлора, Кельвина-Гельмгольца. Колебания капель. Вариационный принцип Уизема. Плотность энергии в среде с дисперсией. Волны с отрицательной энергией. Звуковые и капиллярные волны. Закон Вебера-Фехнера. Интенсивность, громкость и давление звука. Акустический импеданс. Нормальный и аномальный эффект Доплера. Конус Маха. Гравитационное красное смещение. Температурные волны. Тепловой скин-эффект. Вечная мерзлота.

#### 10. Энергия и импульс волн. Вектор Умова.

Волны в неоднородных средах. Геометрическая оптика. Каустика. Рефракция. Волны в слоистых средах. Волны в периодических структурах. Теорема Блоха. Зоны Бриллюэна. Расширенная и приведенная дисперсионная кривые. Фотонные кристаллы. Локализация волн в неоднородных средах. Закон преломления в среде Веселаго. Применение линзы Веселаго для достижения сверхразрешения. Плащ-невидимка.

#### 11. Волновые неустойчивости.

Нелинейные волны. Простая волна, уравнение Хопфа. Образование разрывов в простой волне. Нелинейные волны в среде без дисперсии и без диссипации. Нелинейные волны в среде с диссипацией. Уравнение Бюргерса. Ударные волны. Пробки на дорогах.

#### 12. Волны в неоднородных и периодических средах.

Нелинейные волны в среде с дисперсией. Уравнение Кортвега - де Вриза. Солитон. Точные методы интегрирования нелинейных волновых уравнений. Метод обратной задачи теории рассеяния. Преобразование Бэклунда. Модулированные волны в нелинейных средах.

#### 13. Нелинейные волны в средах с дисперсией.

Нелинейное уравнение Шредингера. Самофокусировка света. Параметрическая неустойчивость. Взрывная неустойчивость. Нелинейные волны в активных средах. Уравнения Максвелла-Блоха. Самоиндуцированная прозрачность. Групповая скорость вблизи запрещенной зоны. Скорость и устойчивость солитона в нелинейном уравнении Шредингера.

#### 14. Нелинейные волны в активных и в диссипативных средах. Что такое синергетика?

Нелинейные волны в диссипативных средах. Конвекция и ячейки Релея-Бенара. Температурные ударные волны. Нелинейное горение. Режимы с обострением. Уравнение «реакция-диффузия». Автосолитоны. Уравнение Колмогорова-Петровского-Пискунова. Уравнение Зельдовича-Франк-Каменецкого. Скорость и устойчивость автоволны в активной среде. Критические возмущения. Теоретико-групповые методы. Локализация автоволн. Автоволны в двумерных возбудимых средах. Диффузионная неустойчивость Тьюринга. Пятна леопарда. Спонтанное нарушение симметрии. Ревербератор и ведущий центр.

### 5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Учебная аудитория, оснащенная доской, мультимедиапроектором и экраном. Свободный доступ к электронной библиотеке МФТИ.

### 6. Перечень рекомендуемой литературы

#### Основная литература

1. Лекции по колебаниям и волнам. В 2 частях. Часть 2 /А. А. Пухов ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет) — Волны, учебное пособие. Москва, МФТИ, 2019
2. Лекции по колебаниям и волнам. В 2 частях. Часть 1 /А. А. Пухов ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет) — Колебания, учебное пособие. Москва, МФТИ, 2019
3. Колебания и волны в задачах и упражнениях [Текст] / А. А. Пухов; М-во образования и науки РФ, Моск. физ.-техн. ин-т (гос. ун-т) - М.МФТИ, 2017

#### Дополнительная литература

1. Сборник задач по аналитической механике [Текст] : [учеб. пособ. для вузов] / Е. С. Пятницкий [и др.] .— М. : Физматлит, 2002 .— 400 с.

2. Лекции по теории колебаний [Текст] : [учеб. пособие для вузов] / Л. И. Мандельштам ; Акад. наук СССР ; Отд-ние общей физики и астрономии .— М. : Наука, 1972 .— 470 с.
3. Теория волн [Текст], учеб. пособие для вузов : доп. М-вом высш. и средн. спец. образования СССР /М. Б. Виноградова, О. В. Руденко, А. П. Сухоруков. -М., Наука, 1990

## **7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)**

1. <http://www.edu.ru> – федеральный портал «Российское образование».
2. <http://benran.ru> –библиотека по естественным наукам Российской академии наук.
3. <http://www.i-exam.ru> – единый портал Интернет-тестирования в сфере образования.
4. <https://ru.wikipedia.org> - сайт Википедии.
5. <http://www.atomic-energy.ru/tema> - сайт Российского атомного сообщества.
6. <http://www.fian-inform.ru> - сайт Агентства научной информации «ФИАН-информ».

## **8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)**

На лекционных занятиях используются мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций. В процессе самостоятельной работы обучающихся возможно использование таких программных средств, как Mathcad и др.

## **9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)**

Успешное освоение курса требует обязательного посещения всех занятий и напряжённой самостоятельной работы студента. Студент, изучающий курс основ теории колебаний и волн, должен с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике. Показателем владения материалом служит умение решать задачи количественных оценок основных параметров, характеризующих свойства лазерных систем на основе применения результатов теоретических вычислений для конкретных практических применений.

В программе курса приведено минимально необходимое время для работы студента над темой. Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение и конспектирование рекомендованной литературы,
- проработку учебного материала (по конспектам лекций, учебной и научной литературе), подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения, доказательство отдельных утверждений, свойств;
- решение задач, предлагаемых студентам на консультациях.

Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляется в форме индивидуальных консультаций.

Литература для самостоятельного изучения:

1. Рабинович М.И., Трубецков Д.И. Введение в теорию колебаний и волн. – М.: Физматлит, 2003, 396 с.
2. Рожнев А.Г., Трубецков Д.И. Линейные колебания и волн. – М.: Физматлит, 2005, 296 с.
3. Уизем Дж. Линейные и нелинейные волны. – М.: Мир, 1977.
4. Карлов Н.В., Кириченко Н.А. Колебания, волны, структуры. – М.: Физматлит, 2003, 496 с.
5. Кузнецов А.П., Кузнецов С.П., Рыскин Н.М. Нелинейные колебания. М.: Физматлит, 2002, 292с.
6. Берже П., Помо И., Видаль К. Порядок в хаосе. М.: Мир, 1991, 368с.
7. Шустер Г. Детерминированный хаос. М.: Мир, 1990, 234с.
8. Мун Ф. Хаотические колебания. М.: Мир, 1990, 312с.
9. Кузнецов С.П. Динамический хаос. М.: Физматлит, 2006, 356с.
10. Ланда П.С. Нелинейные колебания и волны. М.: Наука, Физматгиз, 1997, 496 с.
11. Ланда П.С. Автоколебания в системах с конечным числом степеней свободы. М.: Наука, 1980, 360с.

12. Кузнецов А.П., Кузнецов С.П., Рыскин Н.М. Нелинейные колебания. М.: Физматлит, 2002, 292с.
13. Гукенхеймер Дж., Холмс П. Нелинейные колебания, динамические системы и бифуркации векторных полей. М., Ижевск: Ин-т компьютерных исследований, 2002, 559 с.
14. В.С. Анищенко Сложные колебания в простых системах. М., Наука, 1990, 312с.
15. Пиковский А., Розенблум М., Куртс Ю. Синхронизация. Фундаментальное нелинейное явление. М.: Техносфера, 2003. 494 с.
16. Боголюбов Н.Н., Митропольский Ю.А. Асимптотические методы в теории нелинейных колебаний. М.: ГИФМЛ, 1958. 408 с.
17. Санчес Паленсия Э. Неоднородные среды и теория колебаний, 1984, М., Мир.
18. Неймарк Ю.И., Ланда П.С. Стохастические и хаотические колебания. М.: Наука, 1987, 424 с.
19. Ольховский И.И., Павленко Ю.Г., Кузьменков Л.С. Задачи по теоретической механике для физиков. – М.: Изд. МГУ, 1977. – 395 с.
20. Колоколов И.В. и др. Задачи по математическим методам физики. –М.: Эдиториал УРСС, 2013. – 288с.
21. Трубецков Д.И., Мчедлова Е.С., Красичков Л.В. Введение в теорию самоорганизации открытых систем. – М.: Физматлит, 2005. – 212с.
22. Анищенко В.С., Астахов В.В., Вадивасова Т.В. Регулярные и хаотические автоколебания. – Долгопрудный: Изд. дом «Интеллект», 2009.– 312с.
23. Пиковский А., Розенблум М., Куртс Ю. Синхронизация. Фундаментальное нелинейное явление. – М.: Техносфера, 2003. – 494 с.
24. Трубецков Д.И. Нелинейная наука в датах и лицах: Как закладывались основы синергетики – М.: Эдиториал URSS, 2013. – 312 с.
25. Крайнов В.П. Лекции по избранным задачам гидродинамики. – Долгопрудный: Изд. дом "Интеллект 2014. – 184с.
26. Найфэ А.Х. Введение в методы возмущений. – М.: Мир, 1984. – 535с.
27. Полак Л.С., Михайлов А.С. Самоорганизация в неравновесных физико-химических системах. – М.: Наука, 1983. – 285с.
28. Малинецкий Г.Г. Хаос. Структуры. Вычислительный эксперимент: Введение в нелинейную динамику. – М.: УРСС, 2005. – 312с.
29. Малинецкий Г.Г., Потапов А.Б. Современные проблемы нелинейной динамики. – М.: УРСС, 2000. – 336с.
30. Хакен Г. Синергетика. – М.: Мир, 1980. – 404 с.
31. Хакен Г. Синергетика: Иерархии неустойчивостей в самоорганизующихся системах и устройствах. – М.: Мир, 1985. – 423 с.
32. Романовский Ю.М., Степанова Н.В., Чернавский Д.С. Математическая биофизика. – М.: Наука, 1984. – 304 с.
33. Васильев В.А., Романовский Ю.М., Яхно В.Г. Автоволновые процессы. – М.: Наука, 1987. – 240 с.
34. Марри Д. Нелинейные дифференциальные уравнения в биологии. – М.: Мир, 1982. – 212 с.
35. Скотт Э. Нелинейная наука: рождение и развитие когерентных структур. – М.: Физматлит, 2007. – 560 с.
36. Данилов Ю.А. Лекции по нелинейной динамике. Элементарное введение. – М.: УРСС, 2006. – 208с.
37. Заславский Г.М. Стохастичность динамических систем. – М.: Наука, 1984. – 272с.
38. Заславский Г.М., Сагдеев Р.З. Нелинейная физика. – М.: Наука, 1988. – 372с.
39. Бутенин Н.В., Неймарк Ю.И., Фуфаев Н.Л. Введение в теорию нелинейных колебаний. – М.: Наука, 1987. – 382с.
40. Блэкьер О. Анализ нелинейных систем. – М.: Мир, 1969. – 400с.
41. Елютин П.В. Теория колебаний П. Нелинейная динамика. –shg.phys.msu.su/QE-report-2001-06.pdf, 2012.
42. Боголюбов Н.Н., Митропольский Ю.А. Асимптотические методы в теории нелинейных колебаний. – М.: Наука, 1974. – 410с.
43. Бреховских Л.М., Гончаров В.В. Введение в МСС в приложении к теории волн. – М.: Наука, 1982. – 336с.
44. Пухов А.А. Уравнение «реакция-диффузия». – М.: МФТИ, 2014. – 72с.
45. Андрианов Е.С., Пухов А.А. Квантовая теория лазера. – М.: МФТИ, 2014. – 92с.



**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Физика и педагогика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау центр образовательных программ ЛФИ
<b>курс:</b>	<u>4</u>
<b>квалификация:</b>	бакалавр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

- 7 (осенний) - Дифференцированный зачет
- 8 (весенний) - Дифференцированный зачет

**Разработчик:** А.А. Пухов, д-р физ.-мат. наук, профессор

## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1 Анализирует задачу, выделяя этапы ее решения, действия по решению задачи
	УК-1.2 Находит, критически анализирует и выбирает информацию, необходимую для решения поставленной задачи
	УК-1.3 Рассматривает различные варианты решения задачи, оценивает их преимущества и недостатки
	УК-1.4 Грамотно, логично, аргументированно формирует собственные суждения и оценки
	УК-1.5 Определяет и оценивает практические последствия возможных вариантов решения задачи
УК-6 Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни	УК-6.2 Способен планировать самостоятельную деятельность в решении профессиональных задач; подвергать критическому анализу проделанную работу; находить и творчески использовать имеющийся опыт в соответствии с задачами саморазвития
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения
	ОПК-1.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки
ОПК-4 Способен осуществлять сбор и обработку научно-технической и (или) технологической информации для решения фундаментальных и прикладных задач	ОПК-4.1 Владеет методами научного поиска и интеллектуального анализа информации при решении задач профессиональной деятельности
	ОПК-4.4 Владеет навыками работы с компьютером и компьютерными сетями с целью получения, хранения и обработки научной (технической, технологической) информации
ПК-2 Способен анализировать полученные в ходе научно-исследовательской работы данные и делать научные выводы (заключения)	ПК-2.1 Владеет методами статистической обработки и анализа научных данных
ПК-4 Способен критически оценивать применимость используемых методик и методов	ПК-4.1 Знает численные порядки величин, характерных для соответствующей профессиональной области

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Теория колебаний и волн» обучающийся должен:

### знать:

- основные свойства динамических колебательных и волновых систем;
- фундаментальные понятия, законы и этапы развития колебательной и волновой физики;
- основные закономерности возбуждения колебаний и генерации волн, формирования установившихся колебаний и волновых пакетов, основные результаты теории возмущений в приложении к физике колебаний и волн, основные свойства и параметры колебательных и волновых систем различной природы, основные методы создания высокодобротных колебаний и незатухающих волн;
- порядки численных величин, характерные для различных разделов физики колебаний и волн.

### уметь:

- абстрагироваться от несущественных влияний при моделировании реальных физических ситуаций методами теории колебаний и волн;
- квалифицированно использовать полученные знания для решения простейших практических задач физики колебаний и волн;
- производить численные оценки по порядку величины;
- видеть в технических задачах физическое содержание;
- осваивать новые предметные области и экспериментальные методики в области физики колебаний и волн;
- абстрагироваться от несущественного при моделировании реальных физических ситуаций;
- делать качественные выводы при переходе к предельным условиям в изучаемых проблемах.

**владеть:**

- аппаратом физики колебаний и волн для расчета простейших параметров колебательных и волновых систем;
- культурой постановки и моделирования физических задач в области физики колебаний и волн;
- навыками самостоятельной работы с учебной, научной и справочной литературой, ведения поиска и ориентирования в библиографии.

### 3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

Текущий контроль проводится путем проведения контрольных работ.

Примеры вопросов и задач для контрольной работы:

#### 1. Осенний семестр.

1. Постройте классификацию особых точек системы двух дифференциальных уравнений первого порядка и укажите их вид на фазовой плоскости.
2. Математический маятник в виде невесомого стержня длиной  $l$  с массой  $m$  на конце находится в верхнем неустойчивом положении равновесия. К массе прикреплены две пружины длиной  $a$ , жёсткостью  $k$ , лежащие вдоль горизонтальной линии, перпендикулярной стержню. Концы пружин жестко закреплены. Маятник может совершать движение только в плоскости, перпендикулярной пружинам. Начальная деформация пружин  $b$ . Считая, что смещение маятника  $x$  мало  $x \ll l$ , опишите его движение, когда пружины растянуты  $b < 0$  и сжаты  $b > 0$ .
3. Математический маятник представляет собой грузик на нерастяжимой нити. Для устранения зависимости периода его колебаний от амплитуды (неизохронности) в месте его подвеса приделаны вертикальные выгнутые «щёчки» специально подобранной формы. При колебаниях нить ложится на эти «щёчки» так, что траектория грузика является эвольвентой к форме кривой «щёчек» – эволюте. Найдите такую форму, чтобы маятник был изохронным.
4. Жесткий стержень массой  $m$  и длиной  $a$  подвешен с обоих концов на невесомых нитях, имеющих одинаковую длину  $l$ . Стержень выводят из состояния покоя, прикладывая небольшой импульс силы  $P$  к одному из его концов в направлении, перпендикулярном стержню и нити. Определите частоты и амплитуды нормальных мод колебаний.
5. Двухуровневый атом с дипольным моментом  $d$  находится в поле гармонической волны  $\epsilon \cos \omega t$  оптической частоты. Опишите прецессию и нутацию вектора Блоха атома, вычислите их частоты. Оцените величину сдвига Блоха–Зигерта частоты прецессии.

#### 2. Весенний семестр.

1. Получите уравнение распространения для а) волны по одномерной струне с натяжением  $F$  и линейной плотностью  $g$ ; б) продольной волны по сжимаемой среде, процесс сжатия которой происходит адиабатически; в) продольных волн в твердом теле, с модулем Юнга  $E$ . Обсудите возможность считать, что сжимаемость среды – адиабатическая. Найдите фазовую скорость волн.
2. Мембрана барабана представляет собой односвязную область с фиксированной границей заданной формы, периметра и площади. Можно ли по звуку барабана (спектру и плотности числа собственных мод) восстановить его форму?
3. Объясните физику зависимости скорости звука в океане от степени его солености и от глубины.

4. Определите коэффициент затухания гравитационных волн.
5. В бытовых увлажнителях воздуха и ингаляторах используется эффект ультразвукового распыления жидкости. Ролик показывает, что образуется мелкодисперсионный туман. Объясните механизм распыления. Оцените диаметр капелек тумана при частоте ультразвука 1 МГц.

#### **4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся**

Перечень контрольных вопросов к дифференцированному зачету в 5 семестре:

1. Классификация особых точек системы двух дифференциальных уравнений первого порядка. Постройте классификацию особых точек и укажите их вид на фазовой плоскости.
2. Нелинейный осциллятор. Уравнение Дуффинга. Нарисуйте фазовый портрет уравнения Дуффинга.
3. Автоколебания. Уравнение Ван-дер-Поля. Нарисуйте фазовый портрет уравнения Ван-дер-Поля. Укажите на нем предельный цикл.
4. Из условия равенства нулю потерь за период, вычислите амплитуду автоколебаний, считая решение приближенно гармоническим.
5. Предложите такое видоизменение уравнения Ван-дер-Поля, при котором предельный цикл рождается при некотором значении параметра. Убедитесь, что его амплитуда возрастает корневым образом (бифуркация Хопфа).
6. Параметрический резонанс. Уравнение Матье.
7. Докажите теорему Флоке-Блоха для уравнения Матье. Получите общее условие существования резонансов. На плоскости вблизи первого резонанса найдите область существования параметрического резонанса.
8. Маятник Капицы. Найдите все устойчивые положения равновесия. Укажите критерии их устойчивости.
9. Уравнение Ван дер Поля. Найдите амплитуду квазигармонических автоколебаний. Укажите критерий квазигармоничности.
10. Уравнение «Реакция-диффузия». Скорость кинка. Найдите скорость кинка, воспользовавшись «скачковой» моделью. Найдите предельную скорость кинка в этой модели.
11. Уравнение «Реакция-диффузия». Вариационный принцип. Приведите уравнение «реакция-диффузия» к градиентному виду, указав явный вид функционала. Сформулируйте и докажите вариационный принцип для полной производной функционала. Покажите, что функционал достигает минимума в стационарных состояниях.
12. Уравнение «Реакция-диффузия». «Критический зародыш». Исследовать устойчивость «критического зародыша» по отношению к малым возмущениям. Вычислите его форму в рамках «скачковой» модели.
13. Уравнение «Реакция-диффузия». Двумерный фронт. Найдите скорость распространения кинка с круговым фронтом. Оцените радиус «критического зародыша» стабильной фазы из условия неподвижности кругового фронта.
14. Найти радиус предельного цикла уравнения Релея.
15. Вычислить скорость волны переключения (кинка) в «кубической» модели.
16. Определите период колебаний плоского математического маятника длиной  $l$  в зависимости от их амплитуды. Получите поправку на «неизохронность» при малой амплитуде колебаний.
17. Математический маятник длины  $l$  отклонили от верхнего положения равновесия на малый угол. Оцените период его колебаний. Подсказка: Решите уравнение его движения вблизи положения его равновесия в линейном приближении.
18. Математический маятник совершает ротационные колебания так, что его скорость в верхней точке. Оцените период его оборотов в предельных случаях.
19. Определить положения устойчивого равновесия математического маятника длины  $l$ , точка подвеса которого совершает вертикальные колебания малой амплитуды с большой частотой.
20. В Земле по диаметру просверлена шахта, в которую кинули студента ФПФЭ. Пренебрегая сопротивлением воздуха, определите период его колебаний. Сравните с периодом обращения спутника Земли.

21. Колебания земной атмосферы под влиянием Луны, которая вращается вокруг Земли, представляют собой приливы и отливы. Отклик атмосферы на Луну - это обычный отклик осциллятора на периодическую силу. Период этого воздействия составляет :  $T=12\text{ч } 40\text{мин.}$  : приливы происходят дважды в сутки. Время задержки прилива по отношению к прохождению Луны составляет :  $\Delta T=2\text{ч } 50\text{мин.}$  Период собственных затухающих колебаний атмосферы при глобальных извержениях гигантских вулканов составляет  $T_1=10\text{ч } 20\text{мин.}$  . Оцените добротность осциллятора «Земля–атмосфера»  $Q$  .
22. Определить положение равновесия и характер малых колебаний около него одномодового одноатомного лазера.
23. Вычислить период колебаний уровня воды в чаше Тантала. Считать, что скорость заполнения кубка значительно меньше скорости вытекания воды из него.
24. Определите период колебаний частицы в степенном потенциале в зависимости от ее энергии. Проверьте, что зависимость периода от энергии соответствует закону механического подобия, если потенциальная энергия – однородная функция координат.
25. Определить положение устойчивого равновесия математического маятника длины  $l$ , точка подвеса которого совершает горизонтальные колебания малой амплитуды и большой частоты.
26. Частица с энергией  $E$  совершает колебания с периодом  $T$  в потенциале  $U(x)$ . Определить изменение периода  $\delta T$ , вызванное добавлением к потенциалу малой добавки  $\delta U(x)$ .
27. Рассмотреть устойчивость решений уравнения «реакция-диффузия» типа кинка и домена.

Перечень контрольных вопросов к дифференцированному зачету в 6 семестре:

1. Общее решение волнового уравнения при  $D=1,2$  и  $3$ . Время жизни волнового пакета.
2. Распространение электромагнитных волн в неоднородных средах. Связь групповой скорости со скоростью переноса энергии, ограничения на применение понятия групповой скорости.
3. Особенность дисперсионного соотношения в периодических средах. Расширенная и приведенная дисперсионная кривая. Групповая скорость вблизи запрещенной зоны.
4. Скорость и устойчивость солитона в нелинейном уравнении Шредингера.
5. Закон преломления в среде Веселаго. Применение линз Веселаго и Пендри для достижения сверхразрешения.
6. Скорость ударной волны. Скорость и устойчивость автоволны в активной среде.
7. Звуковые и капиллярные волны.
8. Эффект Доплера.. Аномальный эффект Доплера.
9. Волны в плазме. Уравнение Власова. Уравнение Клейна-Гордона.
10. Ленгмюровские колебания. Плазмоны. Затухание Ландау.
11. Волновые неустойчивости. Конвективная неустойчивость. Неустойчивости Кельвина-Гельмгольца и Релея-Тейлора. Неустойчивость Джинса.
12. Энергия и импульс волн. Плотность энергии в среде с дисперсией. Импульс волнового пакета.
13. Волны с отрицательной энергией. Связанные волны.
14. Волны в неоднородных средах. Геометрическая оптика. Каустика. Рефракция.
15. Волны в слоистых средах. Волны в периодических структурах. Теорема Блоха. Зоны Бриллюэна. Фотонные кристаллы.
16. Нелинейные волны. Простая волна. Уравнение Хопфа. Образование разрывов в простой волне. Нелинейные волны в среде без дисперсии и без диссипации. Нелинейные волны в среде с диссипацией. Уравнение Бюргерса.
17. Ударные волны. Пробки на дорогах. Нелинейные волны в среде с дисперсией.
18. Уравнение Кортвега – де Вриза. Солитон.
19. Модулированные волны в нелинейных средах.
20. Нелинейное уравнение Шредингера. Самофокусировка света.
21. Параметрическая неустойчивость. Взрывная неустойчивость. Нелинейные волны в активных средах.
22. Уравнения Блоха. Самоиндуцированная прозрачность.
23. Нелинейные волны в диссипативных средах. Конвекция Релея – Бенара.
24. Нелинейное уравнение «реакция-диффузия». Автосолитоны. Уравнение Колмогорова-Петровского-Пискунова. Уравнение Зельдовича – Франк-Каменецкого.
25. Локализация автоволн. Автоволны в двумерных возбудимых средах.

26. Диффузионная неустойчивость Тьюринга. Пятна леопарда. Спонтанное нарушение симметрии.

27. Ревербератор и ведущий центр. Нервный импульс. Синергетика.

#### Критерии оценивания

Оценка «отлично (10)» выставляется обучающемуся, если он показал всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений;

оценка «отлично (9)» выставляется обучающемуся, если он показал всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений, но при этом были допущены небольшие неточности, которые были самостоятельно обнаружены и исправлены;

оценка «отлично (8)» выставляется обучающемуся, если он показал всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений, но при этом были допущены небольшие неточности, которые после указания экзаменатора были самостоятельно исправлены;

оценка «хорошо (7)» выставляется обучающемуся, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает неточности в ответе или делает несущественные ошибки при решении задач;

оценка «хорошо (6)» выставляется обучающемуся, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает небольшие ошибки в ответе и (или) при решении задач;

оценка «хорошо (5)» выставляется обучающемуся, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но отвечает неуверенно и (или) допускает ошибки при решении задач;

оценка «удовлетворительно (4)» выставляется обучающемуся, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, неточные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, если при этом он владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации;

оценка «удовлетворительно (3)» выставляется обучающемуся, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, неточные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, не владеющему некоторыми разделами учебной программы, но умеющему применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации;

оценка «неудовлетворительно (2)» выставляется обучающемуся, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных понятий дисциплины и не умеет использовать полученные знания при решении типовых практических задач;

оценка «неудовлетворительно (1)» выставляется обучающемуся, показавшему полное незнание учебной программы дисциплины.

#### **5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности**

При проведении устного дифференцированного зачета обучающемуся предоставляется не менее 30 минут на подготовку. Опрос обучающегося не должен превышать двух астрономических часов.

Во время проведения дифференцированного зачета обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины, а также справочной литературой и вычислительной техникой.