

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева
Дальневосточного отделения Российской академии наук

ОДОБРЕНО
на заседании Ученого совета
ТОИ ДВО РАН, протокол № 6
« 30 » августа 2018 г.

УТВЕРЖДАЮ
Директор ТОИ ДВО РАН
В.Б. Лобанов
« 16 » сентября 2018 г.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ (РПУД)
«ТЕОРИЯ КОЛЕБАНИЙ И ВОЛН»

Направление подготовки
03.06.01 Физика и астрономия (Теоретическая физика)
Форма подготовки – очная

Курс 3, семестры 5, 6
Лекции 108 час.
Практические занятия
Лабораторные работы
Всего часов аудиторной нагрузки 108 час.
Самостоятельная работа 36 час.
Контрольные работы (количество)
Курсовая работа/курсовой проект
Зачет 6 семестр
Экзамен

Программа составлена в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 03.06.01 Физика и астрономия (уровень подготовки кадров высшей квалификации), утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 30.07.2014 № 867.

Программа рассмотрена и одобрена на заседании Ученого совета ТОИ ДВО РАН, протокол № 6 от «30» августа 2018 г.

Ученый секретарь
К.Г.Н.



Н.И. Савельева

Составитель: д.ф.-м.н., профессор, зав. лабораторией нелинейных динамических систем С.В. Пранц

I. Рабочая программа пересмотрена на заседании Ученого совета

Протокол от «_____» _____ 20__ г. № _____

Ученый секретарь _____
подпись *И.О. Фамилия*

II. Рабочая программа пересмотрена на заседании Ученого совета

Протокол от «_____» _____ 20__ г. № _____

Ученый секретарь _____
подпись *И.О. Фамилия*

АННОТАЦИЯ

Дисциплина «Теория колебаний и волн» предназначена для аспирантов, обучающихся по образовательной программе «Теоретическая физика» и входит в вариативную часть учебного плана.

При разработке рабочей программы учебной дисциплины использованы Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования (уровень подготовки кадров высшей квалификации) по направлению подготовки 03.06.01 «Физика и астрономия» (уровень подготовки кадров высшей квалификации), утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 30.07.2014 № 867, учебный план подготовки аспирантов по профилю «Теоретическая физика».

Цель – подготовить аспирантов к научно-исследовательской деятельности по профилю теоретическая физика, к защите научно-квалификационной работы (диссертации) и преподаванию в учреждениях высшего профессионального образования.

Задачи:

- систематизировать знания по теории колебаний и волн;
- на основании теоретической и практической подготовки аспирантов сформировать навыки к самостоятельной научной и педагогической деятельности.

Компетенции выпускника, формируемые в результате изучения дисциплины:

Универсальные компетенции:

Способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях (УК-1).

Способность проектировать и осуществлять комплексные исследования, в том числе междисциплинарные, на основе целостного системного научного мировоззрения с использованием знаний в области

истории и философии науки (УК-2).

Способность планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития (УК-5).

Общепрофессиональные компетенции:

Способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в области колебаний и волн с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий (ОПК-1).

Готовность к преподавательской деятельности по основным образовательным программам высшего образования (ОПК-2).

Профессиональные компетенции:

Владение методологией теоретических и экспериментальных исследований в области теоретической физики (ПК-1).

Способность выдвигать и обосновывать новые гипотезы в области теоретической физики (ПК-4).

Требования к уровню усвоения содержания дисциплины.

Аспиранты должны приобрести следующие знания и умения.

Знать:

- фундаментальные основы теории колебаний и волн;
- современное состояние и перспективы развития исследований в области колебаний и волн;
- основные научные проблемы в области колебаний и волн.

Уметь:

- анализировать и обобщать полученную в ходе исследования информацию из моделей для колебательных и волновых систем;
- использовать компьютерные технологии и обрабатывать результаты натурных измерений, проводить их специальный анализ;
- формулировать логичные и обоснованные выводы из анализа собственных научных результатов и опубликованных материалов.

Владеть:

- современными методами и технологиями в области колебаний и волн;
- основными современными методами расчета объекта научного исследования, использующими передовые информационные технологии;
- навыками корректной постановки научного исследования и выявления артефактов эксперимента.

Интерактивные формы обучения составляют 108 часов лекционных занятий.

I. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА

Лекционные занятия – 108 час. / Самостоятельная работа – 36 час.

МОДУЛЬ 1. Колебания линейных систем с конечным числом степеней свободы (17 час.)

Тема 1. Введение. Основные понятия (1 час.)

Классификация колебательных систем и процессов. Кинематические характеристики периодических и непериодических колебательных систем. Другие характеристики колебательных систем.

Тема 2. Математическое описание колебательных систем с конечным числом степеней свободы (2 час.)

Основные теоремы классической механики. Принцип Гамильтона и уравнение Лагранжа для механических систем. Распределение масс в абсолютно твердом теле. Уравнение динамики абсолютно твердого тела. Аналогии в динамике. Электрические и электромеханические системы.

Тема 3. Свободные колебания консервативных систем (2 час.)

Уравнение малых свободных колебаний. Собственные частоты и собственные формы колебаний. Нормальные координаты. Собственные частоты и собственные формы систем с одной и несколькими степенями свободы. Вариационные принципы для собственных частот и собственных форм колебаний. Свободные колебания упруго подвешенного твердого тела. Свободные колебания системы упруго подвешенных твердых тел.

Тема 4. Методы вычисления собственных частот и собственных форм для систем с большим числом степеней свободы (2 час.)

Обзор численных методов решения алгебраической задачи о собственных значениях. Решение полной задачи о собственных значениях. Определения низших (высших) собственных частот. Развертывание характеристического определителя.

Тема 5. Неконсервативные автономные системы с постоянными параметрами. Устойчивость линейных систем (2 час.)

Классификация линейных неконсервативных систем. Свободные колебания диссипативных систем. Устойчивость автономных систем. Критерии асимптотической устойчивости.

Тема 6. Вынужденные колебания (4 час.)

Недиссипативные системы с одной степенью свободы. Системы с одной степенью свободы при учете сил вязкого сопротивления. Недиссипативные системы с конечным числом степеней свободы. Диссипативные системы с конечным числом степеней свободы. Неустановившиеся вынужденные колебания в системах с одной степенью свободы. Расчет систем с одной степенью свободы на импульсные воздействия. Неустановившиеся вынужденные колебания в системах с конечным числом степеней свободы.

Тема 7. Параметрические колебания (4 час.)

Общие сведения о параметрических колебаниях. Параметрические резонансы. Системы с одной степенью свободы. Области неустойчивости уравнения Матье-Хилла. Области неустойчивости для систем с конечным числом степеней свободы. Свойства параметрически возбуждаемых систем.

МОДУЛЬ 2. Колебания линейных распределенных систем (33 час./8 час.)

Тема 1. Математическое описание распределенных колебательных систем (4 час./2 час.)

Принцип Гамильтона-Остроградского для упругих распределенных систем. Уравнение динамики упругих тел. Учет диссипации в уравнениях движения. Вязкоупругое поведение деформируемых материалов. Колебания струны. Продольные и крутильные колебания стержней. Изгибные колебания стержней и пластин. Колебания тонких упругих оболочек.

Тема 2. Общие свойства собственных частот и собственных форм упругих систем (3 час.)

Свойства собственных частот и собственных форм, основные соотношения. Вариационные принципы в теории собственных колебаний упругих систем. Структура спектра собственных частот. Плотность собственных частот.

Тема 3. Определение собственных частот и собственных форм упругих систем (4 час.)

Точные методы определения собственных частот и собственных форм упругих систем. Метод малого параметра (метод возмущений). Метод последовательных приближений. Методы теории линейных интегральных уравнений. Асимптотический метод. Метод Релея и родственные методы. Методы Ритца, Бубнова-Галеркина, коллокаций и родственные методы. Метод конечных разностей. Метод конечных элементов. Методы динамических жесткостей и податливостей.

Тема 4. Собственные частоты и собственные формы упругих стержней и стержневых систем (4 час.)

Продольные и крутильные колебания стержней. Изгибные колебания стержней. Изгибно-крутильные колебания стержней. Расчет собственных частот и собственных форм колебаний по методам динамических жесткостей и динамических податливостей.

Тема 5. Собственные частоты и собственные формы упругих пластин (4 час.)

Собственные частоты и собственные формы упругих пластин. Пластины, прямоугольные в плане. Круговые и кольцевые в плане пластины. Применение асимптотического метода к упругим пластинам. Многопролетные пластины. Расчет собственных частот и собственных форм на основе уточненных теорий.

Тема 6. Собственные частоты и собственные формы упругих оболочек (4 час.)

Собственные частоты и собственные формы упругих оболочек. Классификация собственных форм колебаний. Круговые цилиндрические оболочки. Сферические оболочки. Конические оболочки. Пологие криволинейные панели. Применение асимптотического метода к расчету собственных частот и собственных форм колебаний. Плотность собственных частот.

Тема 7. Вынужденные колебания упругих систем (4 час./2 час.)

Вынужденные колебания упругих систем. Установившиеся вынужденные колебания недиссипативных систем под действием периодических внешних сил. Вынужденные колебания стержней. Метод разложения по собственным формам. Применение вариационных методов к расчету вынужденных колебаний. Неустановившиеся вынужденные колебания. Вынужденные колебания в диссипативных системах.

Тема 8. Динамическая устойчивость распределенных систем (4 час./2 час.)

Динамическая устойчивость распределенных систем. Свободные колебания распределенных неконсервативных систем. Устойчивость распределенных систем. Методы исследования устойчивости. Параметрические колебания распределенных систем. Уравнения динамической устойчивости. Методы сведения к системам обыкновенных дифференциальных уравнений. Построение областей неустойчивости.

Тема 9. Динамическая устойчивость распределенных систем (2 час./2 час.)

Волны в неограниченной упругой среде. Поверхностные волны Релея. Упругие волны в стержнях. Соударение двух упругих шаров. Продольный удар в упругих стержнях. Поперечный удар по упругим балкам.

МОДУЛЬ 3. Колебания линейных систем при случайных воздействиях (17 час./4 час.)

Тема 1. Сведения из теории случайных процессов и полей (4 час.)

Методы описания случайных функций. Стационарные случайные процессы. Многомерные случайные процессы. Марковские случайные процессы. Вероятностные характеристики случайных полей. Статистическое моделирование случайных процессов и полей.

Тема 2. Случайные колебания систем с конечным числом степеней свободы (6 час./2 час.)

Задачи теории случайных колебаний. Метод дифференциальных уравнений относительно моментных функций. Метод функций Грина

(импульсных переходных функций). Метод спектральных разложений. Стационарные колебания линейных систем. Методы теории марковских процессов. Метод статистического моделирования в задачах случайных колебаний.

Тема 3. Параметрические колебания при случайных воздействиях (3 час./2 час.)

Определения стохастической устойчивости. Метод стохастических функций Ляпунова. Метод моментных функций. Системы, возбуждаемые белыми шумами. Системы, возбуждаемые процессами с конечной дисперсией.

Тема 4. Случайные колебания распределенных систем (2 час.)

Метод моментных функций. Методы спектральных представлений. Метод разложения по собственным формам. Широкополосные случайные колебания.

Тема 5. Основы теории вибрационной надежности (2 час.)

Основные понятия. Критерии вибрационной надежности. Методы аналитической оценки функции надежности. Теория выбросов случайных процессов. Расчет вибрационной надежности.

МОДУЛЬ 4. Общие сведения о нелинейных механических системах.

Математические методы их анализа (8 час.)

Тема 1. Общие сведения о нелинейных механических системах (2 час.)

Природа нелинейных сил и их характеристики. Типы нелинейных механических систем, их фазовые диаграммы и особенности нелинейных колебаний. Понятия об устойчивости, грубости, чувствительности.

Тема 2. Математические методы анализа нелинейных колебательных систем (6 час.)

Случаи точной интегрируемости дифференциальных уравнений движения и приводимые к ним. Графоаналитические методы. Метод малого параметра. Асимптотические методы. Метод точечных отображений. Метод гармонического баланса. Стробоскопический метод. Метод прямой

линеаризации. Частотные методы. Качественные методы. Методы, основанные на сведении к интегральным уравнениям. Прямые вариационные методы. Методы исследования нелинейных систем при случайных воздействиях.

МОДУЛЬ 5. Основные модели нелинейных колебательных систем, их анализ и свойства (8 час./8 час.)

Тема 1. Консервативные системы (2 час./2 час.)

Консервативные системы с одной степенью свободы. Классификация систем с одной степенью свободы. Примеры систем с одной степенью свободы. Консервативные системы с несколькими степенями свободы.

Тема 2. Диссипативные системы (2 час./2 час.)

Определение огибающей (некоторые точные решения). Определение огибающей (приближенное решение). Определение параметров характеристики сопротивления по огибающей экспериментальной виброграммы. Затухающие колебания при действии сил смешанного типа.

Тема 3. Системы с внешним возбуждением (2 час./2 час.)

Основные понятия и определения. Вынужденные колебания в системах с одной степенью свободы. Вынужденные колебания в системах с несколькими степенями свободы. Параметрические колебания в системах с одной степенью свободы.

Тема 4. Автоколебательные системы (2 час./2 час.)

Простейшая автоколебательная система. Автоколебания маятника Фроуда. Автоколебания типа шимми. Автоколебания самолета с автопилотом. Автоколебания в динамической системе с ударными взаимодействиями. Разрывные автоколебания.

МОДУЛЬ 6. Волны и структуры (25 час./16 час.)

Тема 1. Введение (4 час.)

Понятие волны. Бегущая волна. Скорость волны. Гармонические и негармонические волны. Амплитуда и фаза волны. Длина волны. Волновое число, волновой вектор. Плоская волна. Стоячая волна, узлы, пучности.

Принцип суперпозиции. Колебания сплошных систем как наложение бегущих и стоячих волн. Сплошные и дискретные колебательные системы. Волны в сплошной среде. Волны на поверхности жидкости. Интерференция волн.

Тема 2. Элементы теории волн (17 час./14 час.)

Волновое уравнение. Уравнение поперечных колебаний в упругом стержне. Общее решение одномерного волнового уравнения. Сферически симметричные волны. Волновое уравнение с учетом трения. Дисперсия. Уравнения колебаний в бесконечной цепочке связанных маятников, закон дисперсии. Волновой пакет. Групповая скорость. Формула Рэлея. Нормальная и аномальная дисперсия. Энергия колебаний в волне. Плотность потока энергии. Вектор Умова-Пойнтинга. Уравнение Клейна-Гордона.

Самовоздействие волны. Нелинейные волны, нелинейный волновой процесс. Простые волны (волны Римана). Опрокидывание волны. Уравнение Бюргерса. Диссипация, ее роль. Бегущий фронт. Дисперсия волн. Оптическая и акустическая ветви. Гравитационно-капиллярные волны. Принцип причинности и дисперсионные соотношения. Временная и пространственная дисперсия. Уравнение Кортевега-де Фриса. Солитон. Многосолитонные решения. Взаимодействие солитонов. Законы сохранения для уравнения Кортевега-де Фриса. Другие нелинейные уравнения.

Параметры порядка и подчиненные переменные. Диссипативные структуры. Автоволновой процесс, автоволна. Самоорганизация, синергетика. Эффект Бенара. Модель Колмогорова-Петровского-Пискунова. Закон дисперсии малых возмущений. Волны переключения, правило Максвелла. Фазовый переход, стабильная и метастабильная фазы. Функционал (функция) Ляпунова. Режимы локализации и обострения для нелинейных задач теплопроводности. Диффузионная неустойчивость. Диффузионная неустойчивость тьюринговского типа. Диффузионный хаос. Реакции Белоусова-Жаботинского, брюсселятор и орегонатор. Ведущие центры. Ревербераторы (вращающиеся спиральные волны). Модель Фиц Хью-Нагумо. Обобщенное уравнение Гинзбурга-Ландау. Уравнение Свифта-

Хоэнберга и его обобщение. Аксиоматический подход. Клеточный автомат. Возникновение стационарной циркуляции при работе клеточного автомата.

Тема 3. Элементы теории акустики (4 час./2 час.)

Звуковые волны. Звуковые волны большой амплитуды. Распространение звука в атмосфере. Бинауральный эффект. Эффект Доплера. Звуковые волны в трубах. Акустические резонаторы. Источники звука, ультразвук.

II. КОНТРОЛЬ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ КУРСА

Фонд оценочных средств прилагается.

III. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

ДИСЦИПЛИНЫ

Основная литература

1. Адронов А.А., Витт А.А., Хайкин С.Э. Теория колебаний. М.: Мир, 1959. 916 с.
2. Бабаков И.М. Теория колебаний. М.: Дрофа, 2004. 591 с.
3. Бидерман В.Л. Теория механических колебаний. М.: Высш. школа, 1980. 408с.
4. Магнус К. Колебания. М.: Мир, 1982. 304 с.
5. Мун Ф. Хаотические колебания. М.: Мир, 1990. 312 с.
6. Пановко Я.Г. Введение в теорию механических колебаний. М.: Наука, 1991. 257 с.
7. Пейн Г. Физика колебаний и волн. М.: Мир, 1979. 388 с.
8. Челомей В.Н. Вибрации в технике. М.: Машиностроение, 1979. Ч. 1, 352 с. Ч. 2, 351 с.
9. Яблонский А.А., Норейко С.С. Курс теории колебаний: Учеб. пособие. СПб.: Лань, 2003. 256 с.

Дополнительная литература

1. Гриченко В.Т. Гармонические колебания и волны в упругих средах. Киев: Наук. думка, 1981. 284 с.

2. Журавлев В.Ф., Климов Д.М. Прикладные методы в теории колебаний. М.: Наука, 1988. 328 с.
3. Карлов Н.В., Кириченко Н.А. Колебания, волны, структуры. М.: Физматлит, 2003. 496 с.
4. Лившиц М.С. Операторы, колебания, волны. М.: Наука, 1966. 301 с.
5. Обморшев А.Н. Введение в теорию колебаний. Ижевск: НИЦ РХД, 1965. 276 с.