

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

УТВЕРЖДЕНО

**Проректор по учебной работе и
довузовской подготовке**

А.А. Воронов

Рабочая программа дисциплины (модуля)

по дисциплине:	Колебания и волны
по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Физика и педагогика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра общей физики
курс:	4
квалификация:	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

Программу составил: М.Ф. Колдунов, д-р физ.-мат. наук, доцент

Программа обсуждена на заседании кафедры общей физики 06.03.2020

Аннотация

Физика колебаний дана в рамках единого подхода без традиционного разделения на линейные и нелинейные колебания. В курс включены разделы: колебания консервативных систем; изменение энергии колебательной системы, как в результате диссипации, так и получения энергии от внешнего источника; резонансные явления в колебательных системах; основы спектрального анализа; колебания связанных систем; параметрические колебания. Линейные и нелинейные колебания рассматриваются как последовательность усложняющихся физических моделей. Одновременно с изложением моделей излагаются математические методы решения нелинейных задач теории колебаний (метод Пуанкаре, фазовой плоскости, метод медленно меняющихся амплитуд, элементы теории бифуркаций и др).

Рассмотрение волновых процессов ограничено кругом линейных задач. Анализируются основные типы волн: плоская, цилиндрическая, сферическая и поверхностная. Изложение ведется применительно к задачам акустики, электродинамики, а также физики плазмы (в рамках гидродинамического описания). Показано единство волновых процессов в этих разделах физики. Вводятся основные характеристики волн, такие как волновое сопротивление и др. Рассматриваются: распространение волн в волноводах, задача излучения и рассеяния, а также поля в ограниченном пространстве. Разобраны задачи распространения волн в гиротропных и анизотропных средах, а также в средах с временной дисперсией. В заключительной части вводится уравнение Шредингера для одной частицы. Показано, что оно является заурядным волновым уравнением, свойства которого не выделяются из ряда остальных волновых уравнений.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

Цель курса состоит в изучении обучающимися основ физики колебаний и волн для применения ее в сфере наукоемких технологий при подготовке к дальнейшей практической самостоятельной работе в области физики, энергетики, физики живых систем, материаловедения, технологии наноматериалов.

Задачи дисциплины

- ознакомление обучающихся с предметом, принципами, методами и моделями физики колебаний и волн;
- приобретение обучающимися теоретических знаний, практических умений и навыков в области исследований колебательных и волновых систем;
- оказание консультаций и помощи обучающимся в проведении их собственных теоретических и экспериментальных исследований.

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 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

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

фундаментальные понятия, законы физики колебаний и волн;
методы размерности и подобия, применяемые в физике колебаний и волн;
основные особенности колебательного движения, его интегральный характер, резонансное поведение, связь с проблемой устойчивости;
основы спектрального анализа;
качественную теорию дифференциальных уравнений, и представление движения на фазовой плоскости;
основы теории бифуркации и связь теории колебаний с задачами устойчивости;
поведение автоколебательных и параметрических систем;
основные закономерности систем с несколькими степенями свободы: нормальные моды, резонансы и антирезонансы;
основные закономерности нелинейных колебаний, как свободных, так и при внешнем воздействии;
принципы и закономерности синхронизации колебаний, затягивания частоты генерации и гистерезисные процессы;
основные типы волн и их свойства: плоские, цилиндрические, сферические;
физический смысл фазовой и групповой скоростей;
закономерности распространения волн в различных средах, в том числе поверхностных волн;
закономерности физических явлений, связанных с основными волновыми процессами: отражение, преломление, рассеяние, излучение.

уметь:

делать выводы из сопоставлений результатов теории и эксперимента;
производить численные оценки;
моделировать физическую систему;
делать качественные выводы и оценки на основе определяющих параметров физической системы;
видеть физическую суть технических задач;
пользоваться справочной литературой для поиска необходимых данных и понятий физики колебаний и волн;
решать задачи в области как линейных, так и нелинейных колебаний;
рассчитывать и анализировать поведение, как линейных, так и нелинейных колебательных систем.

владеть:

навыками освоения больших объемов информации;
культурой постановки и анализа физических задач;
методами физики колебаний и волн.

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	Свободные колебания систем с одной степенью свободы	4	4		4
2	Метод фазовой плоскости	4	4		4
3	Спектральный анализ	4	4		4
4	Изменение энергии колебательной системы	4	4		5
5	Колебательная система под внешним воздействием	5	5		4
6	Колебание систем с несколькими степенями свободы	5	5		5
7	Параметрические колебания	4	4		4
8	Основные закономерности волновых процессов.	4	4		4
9	Плоская волна: основные параметры и свойства.	4	4		4
10	Цилиндрическая волна и волноводное распространение	5	5		5
11	Сферическая волна: задача излучения и рассеяния	4	4		4
12	Нормальные волны в сплошной среде.	4	4		4
13	Поверхностная волна	5	5		4
14	Уравнение Шредингера: частный случай волнового уравнения	4	4		5
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. Свободные колебания систем с одной степенью свободы

Рассмотрение линейных и нелинейных консервативных систем ведется с единых позиций. Излагаются приближенные методы исследования нелинейных колебательных уравнений (метод Ландау – Пуанкаре и др.). Дается сравнение линейных и нелинейных консервативных колебательных систем.

2. Метод фазовой плоскости

Рассматриваются общие свойства динамических систем. Анализируются фазовые портреты как линейных, так и нелинейных колебательных систем. Вводится представление о бифуркации динамической системы. Рассмотрен пример бифуркации в колебательной системе.

3. Спектральный анализ

Вводятся спектральные представления, и анализируется область их применения. Рассматривается связь рядов и преобразований Фурье, а также принцип неопределенности и теорема Котельникова. Данные элементарные основы вейвлет анализа.

4. Изменение энергии колебательной системы

Рассматривается изменение энергии как пассивных, так и активных (при наличии внешнего источника энергии) колебательных систем. Для их анализа используется метод энергетического баланса и метод укороченных уравнений.

5. Колебательная система под внешним воздействием

Дано единое рассмотрение поведения линейных и нелинейных колебательных систем под действием гармонического возбуждения. Анализ нелинейных систем ведется на основе укороченных уравнений.

6. Колебание систем с несколькими степенями свободы

Рассмотрено поведение связанных как линейных, так и нелинейных колебательных систем. Установлены общие закономерности их поведения.

7. Параметрические колебания

Рассмотрены общие свойства параметрических колебаний (уравнение Хила и уравнение Матье и их свойства). Рассмотрена диаграмма Айнсва – Стретта и ее применение при анализе конкретных колебательных систем.

Семестр: 8 (Весенний)

8. Основные закономерности волновых процессов.

Рассматриваются основные закономерности волновых процессов в линейных средах. Подчеркнута их общность в различных случаях (акустическая, электромагнитная, поверхностная и др.) На примере решения Римана рассматриваются особенности распространения нелинейных волн и их отличия от волн линейного приближения

9. Плоская волна: основные параметры и свойства.

Рассматриваются свойства плоских волн и связанной с ними задачи отражения и преломления. Вводится понятие волнового сопротивления, поляризации, фазовой и групповой скорости. Рассматривается задача Френеля, а также задача отражения под отрицательным углом.

10. Цилиндрическая волна и волноводное распространение

Рассматриваются особенности свойств цилиндрических волн и их рассмотрение в волноводе. Дана классификация волноводных мод, определены их критические частоты. Рассматривается связь волноводного распространения с модами резонатора.

11. Сферическая волна: задача излучения и рассеяния

Рассматриваются сферические волны и связанные с ними задачи излучения и рассеяния. Обсуждаются условия излучения, дипольное, квадрупольное и тормозное излучения. Задача рассеяния рассматривается в приближении Релей.

12. Нормальные волны в сплошной среде.

Вводится представление нормальных волн в среде. Формулируется дисперсионное уравнение для электромагнитных волн, распространяющихся в плазме в магнитном поле, и на их примере рассматриваются волны в среде.

13. Поверхностная волна

Рассматриваются поверхностные волны в различных условиях: волны на поверхности воды, электромагнитные волны у поверхности металла, поверхностная волна в условиях полного внутреннего отражения и т.д.

14. Уравнение Шредингера: частный случай волнового уравнения

В рамках естественного волнового подхода получено уравнение Шредингера и на его основе анализируются его решения в различных условиях.

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

Лекции и практические занятия (семинары) проходят в оборудованных для этого аудиториях. В конце каждой лекции слушатель получает задачу по материалам этой лекции для самостоятельного решения. На практических занятиях преподаватели дают параметризованные задачи, когда каждый студент должен решить ее для своего набора параметров. Обучающиеся имеют возможность выполнить самостоятельное исследование той или иной задачи статистической термодинамики под руководством преподавателя и оформить его в виде отчета или реферата, или статьи.

6.Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Линейные колебания и волны [Текст] / Д. И. Трубецков, А. Г. Рожнев - М.Физматлит,2001
2. Введение в теорию самоорганизации открытых систем [Текст]/Д. И. Трубецков, Е. С. Мчедлова, Л. В. Красичков, -М., Физматлит, 2002
3. Основы радиотехники [Текст] / А. А. Харкевич - М.Физматлит,2007
4. Методы теории волн в средах с дисперсией [Текст], [монография]/М. В. Кузелев, А. А. Рухадзе, -М., Физматлит, 2007

Дополнительная литература

1. 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.
2. Теория колебаний [Текст]/А. А. Андронов [и др.] , -М., Наука, 1981
3. Колебания [Текст], Введение в исследование колебательных систем/К. Магнус , -М., Мир, 1982
4. Анализ нелинейных систем [Текст] , Nonlinear system analysis/О. Блэкьер , -М., Мир, 1969
5. Физика колебаний и волн [Текст] / Г. Пейн ; пер. с англ. А. А. Колоколова ; под ред. Г. В. Скроцкого - М.Мир,1979
6. Введение в теорию колебаний и волн [Текст] : учеб. пособие для вузов / М. И. Рабинович, Д. И. Трубецков .— М. : Наука, 1984 .— 432 с.
7. Физика колебаний [Текст]/А. Пиппард , пер. с англ. Д. А. Соболева под ред. А. Н. Матвеева, The physics of vibration, -М., Высшая школа, 1985
8. 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, 1979

9. Связанные и параметрические колебания в электронике [Текст]/У. Люиселл , -М., Изд-во иностр. лит., 1963

10. Неустойчивости и катастрофы в науке и технике [Текст]/Дж. М. Т. Томпсон , -М., Мир, 1985

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

Не используются

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

На данных компьютерах используются ОС MSWindows, FreeDOS, программа MathCAD, а также программы, разработанные программистами учебно-методического центра кафедры.

В процессе самостоятельной работы обучающихся возможно использование таких программных средств, как Mathcad, Scilab, Origini др.

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

Студент, изучающий дисциплину, должен с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике. В результате изучения дисциплины студент должен знать основные определения дисциплины, уметь применять полученные знания для решения различных задач.

Успешное освоение курса требует:

- посещения всех занятий, предусмотренных учебным планом по дисциплине;
- ведения конспекта занятий;
- напряжённой самостоятельной работы студента.

Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала, подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения;
- решение задач, предлагаемых студентам на занятиях;
- подготовку к выполнению заданий текущей и промежуточной аттестации.

Показателем владения материалом служит умение без конспекта отвечать на вопросы по темам дисциплины.

Важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультациями преподавателю.

Возможен промежуточный контроль знаний студентов в виде решения задач в соответствии с тематикой занятий.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Физика и педагогика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра общей физики
курс:	<u>4</u>
квалификация:	бакалавр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

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

Разработчик: М.Ф. Колдунов, д-р физ.-мат. наук, доцент

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 «Колебания и волны» обучающийся должен:

знать:

фундаментальные понятия, законы физики колебаний и волн;
методы размерности и подобия, применяемые в физике колебаний и волн;
основные особенности колебательного движения, его интегральный характер, резонансное поведение, связь с проблемой устойчивости;
основы спектрального анализа;
качественную теорию дифференциальных уравнений, и представление движения на фазовой плоскости;
основы теории бифуркации и связь теории колебаний с задачами устойчивости;
поведение автоколебательных и параметрических систем;
основные закономерности систем с несколькими степенями свободы: нормальные моды, резонансы и антирезонансы;
основные закономерности нелинейных колебаний, как свободных, так и при внешнем воздействии;
принципы и закономерности синхронизации колебаний, затягивания частоты генерации и гистерезисные процессы;
основные типы волн и их свойства: плоские, цилиндрические, сферические;
физический смысл фазовой и групповой скоростей;
закономерности распространения волн в различных средах, в том числе поверхностных волн;
закономерности физических явлений, связанных с основными волновыми процессами: отражение, преломление, рассеяние, излучение.

уметь:

делать выводы из сопоставлений результатов теории и эксперимента;
производить численные оценки;
моделировать физическую систему;
делать качественные выводы и оценки на основе определяющих параметров физической системы;
видеть физическую суть технических задач;
пользоваться справочной литературой для поиска необходимых данных и понятий физики колебаний и волн;
решать задачи в области как линейных, так и нелинейных колебаний;
рассчитывать и анализировать поведение, как линейных, так и нелинейных колебательных систем.

владеть:

навыками освоения больших объемов информации;
культурой постановки и анализа физических задач;
методами физики колебаний и волн.

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

1. Определить минимальную частоту колебания «бусинки» массы m подвешенной в центре струны с поперечным сечением S длиной l . Масса струны на единицу длины μ , ее натяжение T , а ρ – модель Юнга.
2. Вычислить частоту акустического резонатора Гельмгольца. Резонатор Гельмгольца – сосуд с широким горлышком. Его параметры: S – площадь горлышка, l – его длина, ρ – плотность воздуха, V – объем сосуда
3. Вычислите зависимость положения от времени, а также зависимость скорости от времени для солитонного колебания физического маятника.

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

1. Определить минимальную частоту колебания «бусинки» массы m подвешенной в центре струны с поперечным сечением S длиной l . Масса струны на единицу длины μ , ее натяжение T , а ρ – модель Юнга.
2. Вычислить частоту акустического резонатора Гельмгольца. Резонатор Гельмгольца – сосуд с широким горлышком, показанный на Рис. Его параметры: S – площадь горлышка, l – его длина, ρ – плотность воздуха, V – объем сосуда
3. Вычислите зависимость положения от времени, а также зависимость скорости от времени для солитонного колебания физического маятника.

Критерии оценивания

Оценка отлично 10 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 9 баллов - выставляется студенту, показавшему 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 8 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочетами.

Оценка хорошо 7 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.

Оценка хорошо 6 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.

Оценка хорошо 5 баллов - выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Оценка удовлетворительно 4 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Оценка удовлетворительно 3 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

Оценка неудовлетворительно 2 балла - выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

Оценка неудовлетворительно 1 балл - выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

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

При проведении устного дифференцированного зачета обучающемуся предоставляется 30 минут на подготовку. Опрос обучающегося по билету на устном дифференцированном зачете не должен превышать одного астрономического часа.