

**Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова**

**ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА АКУСТИКИ**

УТВЕРЖДАЮ

_____//
«__» _____ 20 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование дисциплины:

Прикладные задачи теории волн

Уровень высшего образования:

Специалитет

Специальность:

03.05.02 Фундаментальная и прикладная физика

Направленность (профиль)/специализация образовательной программы:

Акустика

Форма обучения:

Очная

Москва 2023

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по специальности 03.05.02 «Фундаментальная и прикладная физика», утвержденным приказом МГУ от 21.12.2018 г. № 1780.

Год (годы) приема на обучение _____

Авторы-составители:

1. д.ф.-м.н., доцент Хохлова Вера Александровна, кафедра акустики физического факультета МГУ
1. к.ф.-м.н. Цысарь Сергей Алексеевич, доцент кафедры фотоники и физики микроволн физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова,
2. д.ф.-м.н., профессор Сапожников Олег Анатольевич, профессор кафедры акустики физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова,
3. к.ф.-м.н. Комиссарова Мария Валентиновна, старший преподаватель кафедры фотоники и физики микроволн физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова,
2. д.ф.-м.н., доцент Никитин Сергей Юрьевич, доцент кафедры общей физики и волновых процессов физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова,

Заведующий кафедрой

Д.ф.-м.н., профессор, академик РАН, Руденко Олег Владимирович, заведующий кафедрой акустики физического факультета МГУ

Аннотация к рабочей программе дисциплины

Дисциплина «Прикладные задачи теории волн» направлена на систематическое изложение общих вопросов теории волн различной физической природы (электромагнитных, звуковых и т.д.). Рассматриваются закономерности распространения волн в линейных средах. Большое внимание уделено изложению различных математических методов анализа волновых уравнений. Основная задача курса состоит в том, чтобы сообщить студенту необходимый минимум знаний по фундаментальным вопросам теории волн и с помощью практических занятий подготовить его для активной работы над современными проблемами. Большое внимание уделено приближенным методам решения различных линейных волновых задач: методам возмущений, геометрической оптики, медленно изменяющихся амплитуд, медленно меняющегося профиля, квазиоптическому методу параболического уравнения.

Дисциплина реализуется на 4 курсе в 7 семестре (осеннем) и является факультативной для освоения обучающимися.

Объем дисциплины составляет 1.5 з.е., в том числе 36 академических часов, отведенных на контактную работу обучающихся с преподавателем, и 18 академических часов, отведенных на самостоятельную работу обучающихся.

Промежуточная аттестация по дисциплине: зачет в 7 (осеннем) семестре.

1. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Дисциплина «Прикладные задачи теории волн» входит в вариативную часть и является факультативом.

2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия

Знание основ курса общей физики, владение базовыми методами математической физики (согласно списку освоенных в 1-6 семестрах дисциплин модулей базовой части: «Фундаментальная и прикладная математика», «Общая физика», «Теоретическая физика»).

3. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с требуемыми компетенциями выпускников

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора (индикаторов) достижения компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с индикаторами достижения компетенций
		Знать физические основы процессов распространения линейных волн и принципы их математического описания Уметь применять соответствующий математический аппарат для определения закономерностей распространения конкретного типа волн в среде с заданными свойствами Владеть полученными теоретическими и практическими знаниями для решения задач, связанных с волновыми явлениями

4. 4. Объем дисциплины (модуля) составляет 1.5 з.е., в том числе: 36 академических часов, отведенных на контактную работу обучающихся с преподавателем, 18 академических часов, отведенных на самостоятельную работу обучающихся.

*Контактная работа включает в себя занятия семинарского типа (семинары)
Дисциплина реализуется в очном формате с возможностью применения электронного обучения и дистанционных образовательных технологий для занятий лекционного и семинарского типа.*

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

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), Форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (ак.ч.)	В том числе					Самостоятельная работа обучающегося, академические часы	Форма текущего контроля успеваемости, наименование
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) <i>Виды контактной работы, академические часы¹</i>						
		Занятия лекционного типа (лекции)	Занятия семинарского типа			Всего		
Семинары	Лабораторные занятия*		Практические занятия*					
Тема 1. Введение. Понятия линейных волн Волновые явления в природе, применения в науке и технике. Примеры из акустики, оптики и электроники. Волновое уравнение и методы его решения.	6	0	4	0	0	4	2	<i>Контрольная работа,</i>
Тема 2. Акустические волны в жидкостях и газах Акустические волны в идеальной среде.	5	0	4	0	0	4	1	

¹Текущий контроль успеваемости может быть реализован в рамках занятий лекционного и(или) семинарского типа.

Уравнение непрерывности, уравнение движения Эйлера, уравнение состояния. Плоские волны. Волновые инварианты. Связь параметров бегущей волны (давления, плотности и скорости движения среды). Плотность и поток энергии.								
Тема 3. Профиль сигнала в средах с малой вязкостью Волны в вязкой среде. Уравнение Навье-Стокса. Звуковые и сдвиговые возмущения. Дисперсия и затухание. Уравнение для медленно меняющегося профиля. Расплывание импульса.	4	0	3	0	0	3	1	
Тема 4. Электромагнитные волны в среде Электромагнитные (ЭМ) волны. Уравнения Максвелла и материальное уравнение. Волновое уравнение. Плоские волны. Волновые инварианты. Связь между	6	0	4	0	0	4	2	<i>Контрольная работа</i>

напряженностями электрического и магнитного полей в бегущей волне. Плотность и поток энергии ЭМ излучения.								
Тема 5. Волны в диспергирующей среде. Волновые пакеты Распространение волн в диспергирующей среде. Волновой пакет. Метод медленно меняющейся амплитуды. Уравнение для огибающей в первом и втором приближениях теории дисперсии. Фазовая и групповая скорости. Дисперсия групповой скорости и расплывание импульса.	4	0	3	0	0	3	1	
Тема 6. Дифракция волн. Волновые пучки Теория дифракции Кирхгофа. Волновые пучки. Метод параболического уравнения. Законы сохранения. Угловой спектр. Дифракция Френеля и Фраунгофера. Фокусировка волновых пучков.	6	0	4	0	0	4	2	

Тема 7. Открытые резонаторы Открытые резонаторы. Поперечные и продольные моды. Гауссовы пучки в резонаторах. Области устойчивости. Концентрический и конфокальный резонаторы. Интерферометр Фабри-Перо. Неустойчивые резонаторы.	4	0	3	0	0	3	1	
Тема 8. Дискретные среды Дискретные периодические структуры. Кристаллические решетки, LC-цепочки, связанные волноводы, фотонные кристаллы. Акустическая и оптическая ветви дисперсии, области непропускания в одноатомных и двухатомных цепочках. Теорема Блоха. Дискретная дифракция.	5	0	4	0	0	4	1	
Тема 9. Волны в анизотропных средах. Одноосные кристаллы Анизотропные среды. Уравнение Френеля для поверхности волновых	6	0	4	0	0	4	2	

векторов. Обыкновенные и необыкновенные волны в одноосных кристаллах. Двойное лучепреломление. Распространение пучков разной поляризации.								
Тема 10. Волны в неоднородных средах. Плоскостойкие среды Среды с плавной неоднородностью показателя преломления. Приближение геометрической оптики. Уравнения эйконала и переноса. Лучевое уравнение. Ход лучей в параболическом и линейном слоях. Отражение в ионосфере и океане, градиентном волноводе, температурном слое.	4	0	3	0	0	3	1	
Промежуточная аттестация: зачет	4						4²	<i>Опрос (теоретический минимум) Зачет по контрольным</i>
Итого	54	36					18	

*Лабораторные занятия, практические занятия относятся к практической подготовке обучающихся.

²Часы на проведение промежуточной аттестации выделяются из часов самостоятельной работы обучающегося

6. Фонд оценочных средств для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю)

6.1. Типовые задания и иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения:

6.1.1. Примеры типовых заданий контрольных работ.

1. Акустические волны в идеальной среде

1.1. Уравнения гидродинамики идеальной сплошной среды. Их физический смысл. Адиабатическое уравнение состояния.

1.2. Из уравнений гидродинамики получить линеаризованную систему уравнений, описывающих движение идеальной сплошной среды. Вывести волновое уравнение для возмущений плотности (возмущений давления, колебательной скорости).

1.3. Вывести волновое уравнение для скалярного потенциала колебательной скорости. Доказать, что звуковые волны в идеальной среде являются продольными.

1.4. Для плоской звуковой волны вывести инварианты одномерных уравнений гидродинамики идеальной сплошной среды. Найти связь между возмущением плотности ρ' , акустическим давлением p' и колебательной скоростью u в волне, бегущей вдоль направления \mathbf{m} ?

1.5. Получить выражение для объемной плотности энергии W и вектора плотности потока энергии S акустических возмущений. Доказать, что полная энергия в объеме идеальной среды сохраняется. Найти связь W и S в бегущей волне.

1.6. Сравнить колебательные скорости частиц в бегущей звуковой волне в воде и в воздухе при одинаковом акустическом давлении. (Принять $\rho_0 c_0 = 1,5 \cdot 10^5 \frac{\text{г}}{\text{см}^2 \cdot \text{с}}$ - для воды и $\rho_0 c_0 = 42 \frac{\text{г}}{\text{см}^2 \cdot \text{с}}$ - для воздуха).

1.7. Найти соотношение возмущений плотности в воде и в воздухе, при прохождении в них плоской звуковой волны, если колебательная скорость гидродинамических частиц в воздухе в 2 раза больше, чем в воде. (Для воды: $c_0 = 1500 \frac{\text{м}}{\text{с}}$; $\rho_0 = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$. Для воздуха: $c_0 = 330 \frac{\text{м}}{\text{с}}$; $\rho_0 = 1,3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$).

1.8. Сравнить колебательные скорости частиц в бегущей звуковой волне в сероводороде и в углекислом газе, если изменения плотности, вызываемые прохождением звуковой волны в этих газах, одинаковы. (Для H_2S : $c_0 = 289,3 \frac{\text{м}}{\text{с}}$; $\rho_0 = 1,5392 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$. Для CO_2 : $c_0 = 256,7 \frac{\text{м}}{\text{с}}$; $\rho_0 = 1,9768 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$).

1.9. Выразить интенсивность и объемную плотность энергии акустических возмущений через инварианты одномерных уравнений гидродинамики.

2. Акустические волны в вязкой среде

2.1. Для плоских сдвиговых волн в вязкой среде вывести волновое уравнение для колебательной скорости и получить дисперсионное соотношение. Какова причина возникновения и скорость затухания таких волн?

2.2. Для плоских звуковых волн в вязкой среде вывести волновое уравнение для колебательной скорости и получить дисперсионное соотношение. Пользуясь дисперсионным соотношением, выписать первые три члена разложения $k(\omega)$ при $\omega \rightarrow 0$. Найти коэффициент затухания и фазовую скорость.

2.3. Найти дисперсионное соотношение для волнового уравнения: $\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{1}{c} \frac{\partial u}{\partial t} = \alpha \frac{\partial^3 u}{\partial t^3}$. Чему равны фазовая скорость и коэффициент затухания?

2.4. Найти дисперсионное соотношение для волнового уравнения: $\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{1}{c} \frac{\partial u}{\partial t} + \alpha \frac{\partial^4 u}{\partial t^4} = 0$. Нарисовать зависимости фазовой скорости и коэффициента затухания от частоты.

2.5. Для плоских звуковых волн в вязкой среде вывести формулы для действительной и мнимой частей волнового числа $k(\omega)$. Рассмотреть случаи малых и больших частот. Нарисовать графики $k'(\omega)$ и $k''(\omega)$.

2.6. Найти связь между коэффициентом поглощения k'' и расстоянием, на котором интенсивность плоской звуковой волны в вязкой среде уменьшится в 2 раза.

2.7. В воздухе найти ослабление $G = 10 \lg \left(\frac{I_0}{I} \right)$ (в дБ) плоской звуковой волны на участке пути длиной 100 м, если частота звука 20 кГц. Для воздуха $c_0 = 330 \frac{м}{с}$; $\rho_0 = 1.3 \frac{кг}{м^3}$; $\eta = 0.19 \cdot 10^{-4} Па \cdot с$; Объемную вязкость не учитывать.

2.8. В водороде найти ослабление $G = 10 \lg \left(\frac{I_0}{I} \right)$ (в дБ) плоской звуковой волны на участке пути длиной 10 м, если частота звука 20 кГц. Для водорода $c_0 = 1284 \frac{м}{с}$; $\rho_0 = 0.09 \frac{кг}{м^3}$; $\eta = 0.87 \cdot 10^{-5} Па \cdot с$; Объемную вязкость не учитывать.

2.9. В воде найти ослабление $G = 10 \lg \left(\frac{I_0}{I} \right)$ (в дБ) плоской звуковой волны на участке пути длиной 100 м, если частота звука 20 кГц. Для воды $c_0 = 1500 \frac{м}{с}$; $\rho_0 = 1000 \frac{кг}{м^3}$; $\eta = 10^{-3} Па \cdot с$. Объемную вязкость не учитывать.

2.10. Интенсивность звука в плоской волне вследствие поглощения уменьшается в воздухе в несколько раз на расстоянии $L_1 = 1 м$. Определить расстояние L_2 , на котором во столько же раз уменьшится интенсивность звука данной частоты в воде. Для воздуха $c_0 = 330 \frac{м}{с}$; $\rho_0 = 1.3 \frac{кг}{м^3}$; $\eta = 0.19 \cdot 10^{-4} Па \cdot с$; Для воды $c_0 = 1500 \frac{м}{с}$; $\rho_0 = 1000 \frac{кг}{м^3}$; $\eta = 10^{-3} Па \cdot с$. Объемную вязкость не учитывать.

2.11. Интенсивность звука в плоской волне вследствие поглощения уменьшается в воздухе в несколько раз на расстоянии $L_1 = 10 м$. Определить расстояние L_2 , на котором во столько же раз уменьшится интенсивность звука в глицерине при увеличении частоты в 2 раза. Для воздуха $c_0 = 330 \frac{м}{с}$; $\rho_0 = 1.3 \frac{кг}{м^3}$; $\eta = 0.19 \cdot 10^{-4} Па \cdot с$. Для глицерина $c_0 = 1923 \frac{м}{с}$; $\rho_0 = 1.26 \cdot 10^3 \frac{кг}{м^3}$; $\eta = 1.48 Па \cdot с$. Объемную вязкость не учитывать.

3. Профиль акустического сигнала в вязкой среде

3.1. Восстановить волновое уравнение, которому соответствует следующее дисперсионное соотношение: а) $k(\omega) = \frac{\omega}{c_0} - i\beta\omega^2$; б) $k(\omega) = \frac{\omega}{c_0} + \alpha\omega^3$; в) $k^2(\omega) = \alpha\omega$; г) $k^2(\omega) = \alpha\omega^3$; д)

$c_0^2 k^2(\omega) = \omega^2 - \omega_0^2$; е) $k(\omega) = \frac{\omega}{c_0} - \frac{\alpha}{\omega}$. Записать полученное волновое уравнение в переменных

(z, τ) , где $\tau = t - \frac{z}{c_0}$.

3.2. Методом медленно меняющегося профиля вывести уравнение для профиля акустического сигнала в среде с малой вязкостью и записать его общее решение.

3.3. Для сигнала с гауссовой огибающей на входе в среду с малой вязкостью $u(z=0, \tau) = u_0 \exp\left(-\frac{\tau^2}{T_0^2}\right)$ получить решение уравнения для профиля акустического сигнала.

Каковы законы изменения с расстоянием длительности и амплитуды в центре сигнала? Нарисовать графики.

3.4. В вязкой среде амплитуда звуковой волны на частоте 20 кГц затухает в "е" раз на расстоянии 100 м. На каком расстоянии начальная длительность гауссова сигнала $T_0 = 10^{-6}$ сек увеличится в 3 раза? (Воспользоваться уравнением ММП). Как изменится при этом амплитуда в центре сигнала?

3.5. Выписать уравнение для профиля акустического сигнала в среде с малой вязкостью в приближении ММП и записать его общее решение для начального профиля $u(z=0, \tau) = u_0(\tau)$. Пусть начальный профиль имеет вид импульса, локализованного на интервале $[-T_0/2, T_0/2]$ и $I = \int_{-\infty}^{+\infty} u_0(\tau) d\tau \neq 0$. Найти асимптотическое выражение для профиля импульса на больших расстояниях z . Как в этом случае зависит от z пиковое значение импульса и его характерная длительность?

3.6. Как меняется с расстоянием амплитуда в центре звукового сигнала при распространении в вязкой среде, если на входе в среду а) $u(z=0, \tau) = \frac{u_0 \tau}{T_0} \exp(-\frac{\tau^2}{T_0^2})$; б) $u(z=0, \tau) = \frac{u_0 \tau^3}{T_0^3} \exp(-\frac{\tau^2}{T_0^2})$.

Нарисовать зависимость амплитуды в центре сигнала от расстояния.

3.7. Используя уравнение ММП доказать, что в вязкой сплошной среде выполняется закон сохранения количества движения $I = \int_{-\infty}^{+\infty} u(z, \tau) d\tau$ с расстоянием, а энергия акустических волн $W = \int_{-\infty}^{+\infty} u^2(z, \tau) d\tau$ с расстоянием уменьшается.

3.8. Доказать, что в вязкой сплошной среде энергия акустических волн уменьшается со временем. (Воспользоваться уравнениями гидродинамики.)

6.1.2. Вопросы (задания) для проведения опроса (теоретического минимума)

(требуют краткого ответа без вывода – на знание фундаментальных вопросов теории волн)

1. Что такое плоская волна? Что такое линейная среда? Формулировка принципа суперпозиции.
2. Уравнения гидродинамики для идеальной сплошной среды. Адиабатическое уравнение состояния.
3. Линеаризованная система уравнений гидродинамики для идеальной сплошной среды. Адиабатическая скорость звука.
4. Волновые уравнения для скалярного потенциала и колебательной скорости звуковых волн в идеальной среде; связь скалярного потенциала и колебательной скорости.
5. Инварианты одномерных уравнений акустики в идеальной среде. Связь ρ' , p' и u в плоской звуковой волне.
6. Формулы для объемной плотности энергии W и вектора плотности потока энергии \vec{S} акустических возмущений. Связь W и S в волне, распространяющейся вдоль направления \mathbf{m} .
7. Уравнения гидродинамики вязкой сплошной среды. Что такое коэффициенты объемной и сдвиговой вязкости?
8. Волновое уравнение для плоских сдвиговых волн в вязкой среде. Дисперсионное соотношение и коэффициент затухания этих волн.
9. Волновое уравнение для плоских звуковых (продольных) волн в вязкой среде. Дисперсионное соотношение для этих волн. Коэффициент затухания волн в среде с малой вязкостью.
10. Уравнение для профиля акустического сигнала в среде с малой вязкостью (уравнение ММП) и его общее решение.
11. Решение уравнения ММП для плоских акустических волн в вязкой среде в случае, когда профиль сигнала на входе в среду является гауссовским. Законы изменения с расстоянием длительности и пикового значения указанного сигнала.
12. Уравнения Максвелла в проводящей среде. Их физический смысл. Материальные уравнения в однородной изотропной среде.
13. Формулы для объемной плотности энергии W и вектора плотности потока энергии S электромагнитного излучения. Связь W и S в волне, распространяющейся вдоль направления \mathbf{m} .
14. Инварианты одномерных уравнений Максвелла в идеальной среде. Связь векторов E и H в плоской волне, распространяющейся вдоль направления \mathbf{m} .

15. Волновое уравнение для E в проводящей среде. Дисперсионное соотношение для электромагнитных волн в проводящей среде.
16. Тангенс угла потерь для электромагнитного поля в проводящей среде. Коэффициент преломления и коэффициент поглощения электромагнитных волн в такой среде.
17. Что такое дисперсия волн? Что такое волновой пакет? Что такое фазовая и групповая скорости?
18. Связь фазовой и групповой скоростей в диспергирующей среде (формула Рэлея). Что такое нормальная и аномальная дисперсия?
19. Дисперсионное соотношение для волнового пакета в 1-ом приближении теории дисперсии. Условия применимости 1-го приближения теории дисперсии. Уравнение для огибающей пакета и его общее решение.
20. Дисперсионное соотношение для волнового пакета во 2-ом приближении теории дисперсии. Условия применимости 2-го приближения теории дисперсии. Уравнение для огибающей пакета и его общее решение.
21. Решение уравнения для огибающей волнового пакета во 2-ом приближении теории дисперсии в случае, когда на входе диспергирующей среды задан волновой пакет с гауссовой огибающей.
22. Для волнового пакета с гауссовой огибающей выписать во 2-ом приближении теории дисперсии закон изменения с расстоянием длительности и амплитуды в центре волнового пакета.
23. Чему равен спектр сигнала $u(t) = A_0 e^{-\frac{t^2}{\tau^2}}$? Нарисовать графики сигнала и модуля его спектра $S(\omega)$.
24. Чему равен спектр сигнала $u(t) = A_0 e^{-\frac{t^2}{\tau^2}} e^{-i\omega_0 t}$? Нарисовать графики $\text{Re}(u(t))$ и модуля спектра сигнала $S(\omega)$.
25. Что такое угловой спектр $S(k_x, k_y)$? Чему равен угловой спектр плоской волны $u(x, y, z, t) = u_0 e^{-i(\omega t - kz)}$?
26. Что такое волновой пучок? Параболическое уравнение в теории дифракции квазиплоских волновых пучков с двумерной поперечной структурой. Физический смысл, условия применимости и общее решение.
27. Параболическое уравнение в теории дифракции волновых пучков с одномерной поперечной структурой. Физический смысл, условия применимости и общее решение.
28. Для круглого гауссова пучка с первоначально плоским фазовым фронтом записать законы изменения с расстоянием радиуса пучка и амплитуды волны на оси пучка. Как зависит от расстояния радиус кривизны фазового фронта и чему равен угол дифракционной расходимости в дальней зоне?
29. Выражение для радиуса фокальной перетяжки a_f при фокусировке круглого гауссовского пучка радиуса a_0 линзой с фокусным расстоянием F в пределе малой длины волны $\lambda \ll F$ (дифракционный предел фокусировки).
30. Что такое анизотропная среда? Примеры электрически анизотропных и магнитно анизотропных сред. Что такое явление двойного лучепреломления? Что такое оптически положительный и оптически отрицательный одноосный кристалл?
31. Взаимная ориентация векторов $\vec{E}, \vec{D}, \vec{H}, \vec{B}, \vec{S}, \vec{k}$ в электрически и магнитно анизотропных средах.
32. Уравнения для поверхностей волновых векторов в одноосном кристалле. Что такое угол двойного лучепреломления?
33. Уравнение Гельмгольца в неоднородной среде и его связь с волновым уравнением.
34. Что такое неоднородная среда? Уравнения геометрической оптики в изотропной неоднородной среде. Физический смысл уравнений геометрической оптики. Условия применимости уравнений геометрической оптики.
35. Дифференциальное уравнение траектории луча в плоскостной неоднородной среде и его решение. Закон Снеллиуса.
36. Конфигурация одноатомной цепочки и уравнения движения для её описания.
37. Конфигурация двухатомной цепочки и уравнения движения для её описания.
38. Дисперсионное соотношение для упругих волн в одноатомной цепочке. График $\omega(k)$. Чему равны верхняя критическая частота, скорость звука в пределе низких частот и разность фаз колебаний соседних атомов?

39. Дисперсионное соотношение для упругих волн в двухатомной цепочке. График $\omega(k)$ для акустической моды. Чему равны верхняя частота этой моды и фазовая скорость волны в пределе низких частот?

40. Дисперсионное соотношение для упругих волн в двухатомной цепочке. График $\omega(k)$ для оптической моды. Чему равны верхняя и нижняя частоты полосы пропускания этой моды, а также групповая скорость волны для оптической моды в пределе низких частот?

6.2. Шкала и критерии оценивания

(шкала и критерии оценивания могут быть типовыми для всех дисциплин (модулей), входящих в ОПОП ВО)

7. Ресурсное обеспечение

• Перечень основной и дополнительной учебной литературы:

1. Виноградова М.Б., Руденко О.В., Сухоруков А.П. Теория волн, 3-е изд. М.: Наука, 2015.
2. Акустика в задачах, Под редакцией С.Н. Гурбатова и О.В. Руденко, М.: Физматлит, 2009.
3. Рабинович М.И., Трубецков Д.И. Введение в теорию колебаний и волн, 3-е изд. М.: Наука, 2001.
4. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Том 2. Теория поля, 9-е изд. М.: Физматлит, 2020.
5. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Том 7. Теория упругости, 5-е изд. М.: Физматлит, 2007.
6. Бреховских Л.М. Волны в слоистых средах. 2-е изд., М.: Наука, 1973.
7. Уизем Дж. Линейные и нелинейные волны. / Пер. с англ. М.: Мир. 1988.
8. Быков В.П., Силичев О.О. Лазерные резонаторы. М.: Физматлит. 2003.
9. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. М.: Наука. 1970.

• Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

1. Лекции ученых МГУ. Теория волн. Часть 1. Лектор Цысарь С.А. Физический факультет, VII семестр, осень 2017 г. <https://teach-in.ru/course/wave-theory-p1/lecture>

• Описание материально-технической базы

Семинары по курсу проводятся в учебной аудитории кафедры акустики физического факультета МГУ (оснащена мультимедийным проектором и выдвижным экраном).

8. Язык преподавания: русский (дисциплина может быть реализована на иностранном языке).