

**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:

Физическая акустика твердого тела

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_____

Автор–составитель:

Кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Можаев Владимир Геннадиевич, кафедра акустики физического факультета МГУ

Заведующий кафедрой акустики
д.ф.-м.н., профессор О.В. Руденко

Аннотация к рабочей программе дисциплины

Целью спецкурса является изучение студентами основных линейных и нелинейных явлений, сопровождающих распространение акустических волн в кристаллах и других изотропных и анизотропных твердых телах. Подробно изучаются вопросы кристаллоакустики, нелинейной акустики твердого тела, акустоэлектроники, акустооптического и магнитоакустического взаимодействий. Курс сопровождается семинарскими занятиями, на которых студенты учатся решать индивидуальные задачи по изучаемой теме.

Дисциплина реализуется на 5 курсе в 10 семестре специалитета, входит в вариативную часть и является обязательной для освоения обучающимися по специализации «Акустика».

Объем дисциплины составляет 2 з.е., в том числе 34 академических часа, отведенных на контактную работу обучающихся с преподавателем, 38 академических часов, отведенных на самостоятельную работу обучающихся.

Промежуточная аттестация по дисциплине - экзамен в 10 семестре.

1. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Дисциплина «Физическая акустика твердого тела» относится к вариативной части программы обучения в магистратуре и является обязательной для освоения обучающимися по магистерской программе «Физическая и прикладная акустика».

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

Предполагается, что слушатели владеют базовыми методами математической и теоретической физики, знают основы акустики и волновой физики.

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 основные физические явления, сопровождающие распространение акустических волн в твердых телах, и методы их описания и исследования. Уметь использовать знания в практике научных исследований. Владеть основными методами ведения теоретических расчетов и научных исследований в области базовых задач физической акустики твердого тела.

4. Объем дисциплины (модуля) составляет 2 з.е., в том числе: 34 академических часа, отведенных на контактную работу обучающихся с преподавателем, 38 академических часов, отведенных на самостоятельную работу обучающихся.

Контактная работа включает в себя занятия 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) Виды контактной работы, академические часы ¹						
		Занятия лекционного типа (лекции)	Занятия семинарского типа			Всего		
			Семинары	Лабораторные занятия*	Практические занятия*			
<p>Тема 1. Акустические волны в кристаллах. Тензорное описание упругих свойств кристаллов. Уравнения, описывающие распространение акустических волн в анизотропных средах. Фазовая скорость и поляризация объемных волн. Групповая скорость и скорость переноса энергии волн в кристаллах. Коническая рефракция. Пьезоэлектрический эффект. Уравнения состояния пьезоэлектрических кристаллов. Связанные акустоэлектромагнитные волны. Квазистатическое приближение. Объемные акустические волны в пьезокристаллах. Поверхностные акустические волны (ПАВ) в анизотропных средах. Алгоритм нахождения фазовой скорости. "Запрещенные" направления для ПАВ в кристаллах.</p>	24	6	6			12	12	Решение каждым студентом в течение семестра 2-х индивидуальных задач по кристаллоакустике и по пьезоэлектричеству

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

ПАВ в пьезокристаллах. Структура волны электрического поля вне кристалла.								
Тема 2. Нелинейная акустика твердого тела. Основы нелинейной теории упругости. Тензор Пиолы-Кирхгофа. Физическая и геометрическая нелинейности. Генерация гармоник и нелинейные взаимодействия продольных и поперечных акустических волн в изотропных телах. Нелинейные параметры твердых тел. Нелинейные акустические эффекты в кристаллах. Уравнение Грина-Кристоффеля для генерации второй гармоники в кристаллах. Нелинейные поляризационные эффекты при генерации второй гармоники сдвиговой волны. Трехволновые взаимодействия акустических волн в кристаллах. Нелинейные процессы на границах раздела твердых тел. Свойства граничной акустической нелинейности. Генерация гармоник и искажение формы нелинейных поверхностных и граничных акустических волн.	12	6				6	6	
Тема 3. Поглощение звука в изотропных диэлектриках. Поглощение звука в твердых телах вследствие вязкости и теплопроводности. Феноменологическая теория поглощения продольных, поперечных и поверхностных волн в изотропных телах. Фононный спектр тепловых колебаний решетки. Фонон-фононные взаимодействия. Взаимодействие акустических волн с тепловыми фононами. Фонон-фононное поглощение: теории Ландау-Румера и Ахиезера.	4	2				2	2	
Тема 4. Основы акустоэлектроники. Механизмы акустоэлектронного взаимодействия в кристаллах. Акустические волны в пьезополупроводниках. Акустоэлектронное поглощение и дисперсия акустических волн. Усиление звука дрейфом носителей заряда. Нелинейные акустоэлектронные явления. Концентрационная	16	8				8	8	

нелинейность. Акустоэлектрический эффект. Генерация второй акустической гармоники в пьезополупроводниках. Пространственные характеристики и зависимости от проводимости полупроводника.								
Тема 5. Акустооптические взаимодействия. Фотоупругий механизм взаимодействия электромагнитных и акустических волн. Дифракция света на звуке. Режимы Рамана-Ната и Брэгга. Пространственные характеристики взаимодействия и эффективность дифракции. Рассеяние Мандельштама-Бриллюэна на тепловых колебаниях решетки. Определение анизотропии скорости звука. Параметрическое взаимодействие света и звука при вынужденном рассеянии Мандельштама-Бриллюэна.	8	4				4	4	
Тема 6. Основы магнитоакустики и квантовой акустики. Основное уравнение магнитной динамики. Внутренняя энергия магнитных кристаллов. Электромагнитные, магнитостатические и спиновые волны в магнетиках. Магнитоупругое взаимодействие. Магнитоакустический резонанс. Квантовые эффекты в физической акустике. Акустический парамагнитный и ядерный магнитный резонансы.	4	2				2	2	
Промежуточная аттестация <u>экзамен</u>	4						4	экзамен
Итого	72	34					38	

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

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

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

Вопросы к экзамену по дисциплине «Физическая акустика твердого тела»:

1. Описание распространения и поляризации объемных акустических волн в кристаллах. Уравнения Грина-Кристоффеля, их вид и решения в высокосимметричных случаях.
2. Вырожденные случаи распространения объемных акустических волн в кристаллах. Акустические оси. Коническая рефракция. Чистые моды.
3. Поверхность медленности объемных акустических волн в кристаллах, ее свойства. "Фононная" фокусировка.
4. Акустические волны в пьезоэлектриках. Пьезоэлектрические преобразователи.
5. Поверхностные акустические волны в кристаллах. Предельные объемные волны. Особые объемные волны.
6. Нелинейные акустические волны в твердых телах.
7. Механизмы поглощения ультразвука в твердых телах.
8. Акустоэлектронное затухание и усиление в пьезополупроводниках.
9. Акустоэлектронное взаимодействие в слоистых пьезоэлектрических и полупроводниковых структурах. Встречно-штыревые преобразователи. Акустоэлектронные устройства.
10. Взаимодействия ультразвука и света. Режимы дифракции света на ультразвуке. Акустооптические устройства. Рассеяние Манделъштама-Бриллюэна.
11. Магнитоакустические явления.

6.2. Шкала и критерии оценивания

7. Ресурсное обеспечение

Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Основная литература:

1. Красильников В.А., Крылов В.В. Введение в физическую акустику. – М.: Наука, 1984.
2. Бархатов А.Н., Горская Н.В., Горюнов А.А., Гурбатов С.Н., Можаяев В.Г., Руденко О.В. Акустика в задачах, 2-е изд. – М.: Физматлит, 2009.
3. Руайе Д., Дьелесан Э. Упругие волны в кристаллах. – М.: Наука, 1982.
4. Лямов В.Е. Поляризационные эффекты и анизотропия взаимодействия акустических волн в кристаллах. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1983.
5. Auld В.А., Acoustic Fields and Waves in Solids. Vol. I & II. – New York: Wiley & Sons, 1973.

Дополнительная литература:

1. Ультразвук. Маленькая энциклопедия. Под ред. И.П. Голяминой. – М.: Советская Энциклопедия, 1979.
2. Кулакова Л.А. Основы физической акустики и акустоэлектроника. – Ст. Петербург: Изд-во Политехн. ун-та, 2008.
3. Такер Дж., Рэмpton В. Гиперзвук в физике твердого тела. – М.: Мир, 1975.

Периодическая литература

1. Акустический журнал.
2. The Journal of the Acoustical Society of America.
3. Ultrasonics.

Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

<http://acoustics.phys.msu.ru>, <http://www.akin.ru>

Описание материально-технической базы

Учебная аудитория физического факультета.

Проектор, компьютер

8. Язык преподавания: русский.