

Рабочая программа дисциплины

1. Название дисциплины: *Локализованные волны в упругих телах*

2. Уровень высшего образования – *магистратура*

3. Направление подготовки: *03.04.02 Физика (магистратура)*

4. Аннотация:

Реальные процессы ограничены в пространстве и времени, что сказывается на их характеристиках и предопределяет важность изучения влияния таких ограничений. Пространственно-временная локализация приводит к существенным особенностям и акустических процессов. Изучение таких особенностей составляет предмет данного курса. Курс включает в себя следующие основные разделы: Локализация волн в безграничных твердых телах (акустические импульсы и пучки); Локализация волн на границе тел (типы, свойства, методы теории и способы возбуждения поверхностных и граничных волн); Волны в слоях и стержнях и волны утечки; Упругие колебания тел конечных размеров; Локализованные возбуждения в кристаллических решетках; Практические применения локализованных волн. Большинство рассматриваемых вопросов основано на результатах недавних научных публикаций разных авторов и до сих пор в учебной литературе не отражалось. Тематика спецкурса охватывает весьма обширную область знаний, поэтому при его чтении делается акцент на объяснении студентам в первую очередь основных понятий и наиболее эффективных методов при сокращенном объеме математических выкладок.

4. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся (указывается согласно рабочему плану):

Объем дисциплины составляет 2 зачетные единицы, всего 72 часа, из которых 36 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (33 часа занятий семинарского типа, 0 часов групповых консультаций, 0 часов индивидуальных консультаций, 2 часа мероприятия текущего контроля успеваемости, 1 час мероприятия промежуточной аттестации), 36 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

5. Входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия:

Для освоения дисциплины необходимы знания и умения, приобретаемые в рамках дисциплин «Механика», «Методы математической физики», «Электродинамика», «Квантовая механика», «Теория волн», «Физическая акустика твердого тела».

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

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего, часы	В том числе								
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них						Самостоятельная работа обучающегося, часы из них		
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Учебные занятия, направленные на проведение текущего контроля успеваемости коллоквиумы, практические контрольные занятия и др.*	Всего	Выполнение домашних заданий	Подготовка рефератов и т.п.	Всего
Локализация волн в безграничных телах. Импульсы в изотропных телах и кристаллах. Импульсные акустоэлектронные явления. Пико- и фемтоакустика. Нелинейные импульсы. Фокусированные пучки. Волноводы в градиентных средах. Фононная фокусировка. Самофокусировка.	6.2	2	2			0.2	4.2	2		2
Локализация волн на границе тел. Типы и свойства, способы возбуждения и методы теории поверхностных и граничных волн.	30.8	6	6			0.8	12.8	4	14	18

Волны в слоях и стержнях. Волны утечки. Моды пластин и стержней постоянного и переменного сечения. Волны утечки на плоских и искривленных границах твердых тел с жидкостью. Волны утечки в кристаллах и волноводах.	15.3	3	3			0.3	6.3	2	7	9
Упругие колебания тел конечных размеров. Колебания тел простой формы: сфера, куб и параллелепипед; стержни. Собственные колебания резонаторов гравитационных антенн. Акустические свойства спортивных снарядов.	5.2	2	1			0.2	3.2	2		2
Локализованные возбуждения в кристаллических решетках. Объемные, граничные и поверхностные возбуждения.	5.2	2	1			0.2	3.2	2		2
Практические приложения локализованных волн. Ультразвуковая дефектоскопия и диагностика. Акустоэлектроника и акустооптика. Инструменты музыкальной акустики.	8.3	3	2			0.3	5.3	3		3
Промежуточная аттестация	1					1	1			
Итого	72	18	15			3	36	15	21	36

** Текущий контроль успеваемости может быть реализован в рамках занятий семинарского типа, групповых или индивидуальных консультаций*

7. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Перечень индивидуальных задач для самостоятельного решения тремя методами, излагаемыми в спецкурсе:

А. Метод первых интегралов

Решение задачи о распространении нелинейных чисто сдвиговых волн в полупространстве. Применение метода к волнам Гуляева-Блюстейна. Модификация метода для волн Шолте. Представление дисперсионного уравнения для волн Рэлея как задачи на собственные значения. Применение метода к импульсам волн Рэлея произвольной формы. Интегрирование уравнений движения для волн Рэлея в дискретной решетке. Решение обратной задачи: из первых интегралов найти уравнения движения. Процедура интегрирование первых интегралов уравнений движения.

Б. Метод теории возмущений

Влияние слабого пьезоэффекта на волны Рэлея. Влияние вязкоупругости на диссипацию волн Рэлея. Влияние нагрузки поверхности газом или жидкостью на волны Рэлея. Влияние слабой кривизны пластины на волны Лэмба. Уравнения связанных мод Рэлея в кристаллической пластине конечной толщины. Дисперсия волн Лэмба вблизи толщинных резонансов. Асимптотика скорости квазиравельских клиновидных волн в тупоугольных клиньях. Отражение волн Рэлея от электрода на поверхности слабого пьезоэлектрика.

С. Метод гиперболических тангенсов

Диссипативное обобщение формулы для коэффициента отражения $R = \text{th}(\Gamma N)$ от периодического N -слойного отражателя (Γ – коэффициент отражения единичного отражателя). Расчет коэффициента отражения в периодической двуслойной структуре с постоянной плотностью и переменной упругостью. Обобщение формулы $R = \text{th}(\Gamma N)$ на случай наклонного отражения в периодической двуслойной анизотропной структуре. Вывод дисперсионного уравнения для волноводных сдвиговых волн, локализованных из-за нарушения периодичности. Синтез топологии встречно-штыревого отражателя поверхностных акустических волн по его амплитудно-частотной характеристике. Синтез топологии многослойной структуры по заданному распределению профиля локализованных волноводных мод. Расчет импульсного отклика радиочастотных идентификаторов на поверхностных акустических волнах. Анализ характеристик "сазера" с брэгговскими отражателями.

8. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

Примерный список вопросов для проведения промежуточной аттестации и написания рефератов:

Чем отличаются друг от друга солитоны продольных и поперечных объемных упругих волн в твердых телах? Что такое акустоэлектронные домены? Их основные характеристики. Как отличаются друг от друга дополнительные сдвиги фазы из-за фокусировки или дефокусировки двумерных и трехмерных волновых пучков? Какое явление называют фононной фокусировкой? Его причины и следствия. Скорость и поляризация поверхностных акустических волн в твердых телах. Причины формирования и свойства волн шепчущей галереи. Особенности волн, существующих на внутренних границах твердых тел. Энергетические характеристики поверхностных и граничных упругих волн. Поверхностные акустические волны в кристаллах (свойства, теорема существования). Понятие предельных объемных акустических волн в кристаллах. Поверхностные волны в песке. Поверхностные колебания биологической ткани. В чем суть метода Стро? Вывод

дисперсионного уравнения для волн Рэлея при помощи прямого интегрирования уравнений движения. Лучевое и скалярное приближения для поверхностных акустических волн. Метод поверхностного импеданса. Теория возмущений на основе квадратичных лемм. Способы возбуждения поверхностных и граничных волн. Поверхностные волны в слоистых средах. Акустоэлектронные явления в низкоразмерных электронных системах. Волноводные моды гетероструктур. Акустика периодических многослойных сред. Отрицательная рефракция акустических волн на границе кристаллов.

Примерный список заданий для проведения промежуточной аттестации:

Доказать, что волна Рэлея существует во всех реальных твердых телах. Найти приближенное выражение для скорости волн Рэлея, исходя из того, что она мало отличается от скорости сдвиговых объемных волн. Определить глубину (в длинах волн), на которой волна Рэлея становится линейно поляризованной. Доказать, что интегральные по глубине, средние по времени кинетическая и потенциальная энергии в волне Рэлея равны друг другу. Во сколько раз изменится глубина проникновения волн Гуляева-Блюстейна при металлизации свободной поверхности сульфида кадмия и пьезокерамики PZT-4, если коэффициент электромеханической связи и относительная диэлектрическая проницаемость для первого материала составляют 0,188 и 9, а для второго – 0,71 и 730. Оценить угол клина, в котором скорость клиновых волн на порядок меньше скорости объемных сдвиговых волн. Изобразить лучевые траектории для упругих волн, распространяющихся в поверхностном слое песка.

(приводятся типовые вопросы, тесты, темы рефератов и пр., а также таблица оценивания учебных достижений)

Планируемые результаты обучения* (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения				
	1	2	3	4	5

<p>Знать методы критического анализа и оценки современных научных достижений, а также методы генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях</p>	<p>Отсутствие знаний</p>	<p>Фрагментарные знания методов оценки научных достижений, методов формулирования новых идей при решении исследовательских и практических задач для локализованных волн в акустике твердых тел, в т.ч. в междисциплинарных областях</p>	<p>Знание, в целом дающее представление о методах оценки научных достижений, методах формулирования новых идей при решении исследовательских и практических задач для локализованных волн в акустике твердых тел, в т.ч. в междисциплинарных областях, но не содержащее исчерпывающие данные о явлениях и процессах</p>	<p>Знание, в целом дающее представление о методах оценки научных достижений, методах формулирования новых идей при решении исследовательских и практических задач для локализованных волн в акустике твердых тел, в т.ч. в междисциплинарных областях, но содержит небольшие пробелы</p>	<p>Знание, дающее полное представление о методах оценки научных достижений, методах формулирования новых идей при решении исследовательских и практических задач для локализованных волн в акустике твердых тел, в т.ч. в междисциплинарных областях</p>
---	--------------------------	---	---	--	--

<p>Уметь при решении исследовательских и практических задач генерировать новые идеи, ставить и решать соответствующие задачи для локализованных волн в акустике твердых тел</p>	<p>Отсутствие умений</p>	<p>Фрагментарные навыки генерировать новые идеи, ставить и решать соответствующие задачи для локализованных волн в акустике твердых тел</p>	<p>Навыки генерировать новые идеи, ставить и решать соответствующие задачи для локализованных волн в акустике твердых тел, позволяющие решить некоторые из этих задач</p>	<p>Навыки генерировать новые идеи, ставить и решать соответствующие задачи для локализованных волн в акустике твердых тел, но с пробелами в их практическом использовании</p>	<p>Разносторонние Навыки генерировать новые идеи, ставить и решать соответствующие задачи для локализованных волн в акустике твердых тел</p>
<p>Владеть методологией постановки и решения задач для локализованных волн в акустике твердых тел, навыками критического анализа и оценки современных научных достижений и практической деятельности для</p>	<p>Отсутствие навыков</p>	<p>Фрагментарное владение методологией постановки и решения задач и технологиями оценки достижений для локализованных волн в акустике твердых тел</p>	<p>В целом успешное, но не систематическое владение методологией постановки и решения задач и технологиями оценки достижений для локализованных волн в акустике твердых тел</p>	<p>В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы владение методологией постановки и решения задач и технологиями оценки достижений для локализованных волн в акустике твердых тел</p>	<p>Успешное и систематическое владение методологией постановки и решения задач и технологиями оценки достижений для локализованных волн в акустике твердых тел</p>

локализованных волн в акустике твердых тел, а также в смежных областях					
---	--	--	--	--	--

9. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Основная литература

1. А.Н. Бархатов, Н.В. Горская, А.А. Горюнов, С.Н. Гурбатов, В.Г. Можаяев, О.В. Руденко, «Акустика в задачах», 2-е изд., Москва, Физматлит, 2009.
2. Д.А. Индейцев, Н.Г. Кузнецов, О.В. Мотыгин, Ю.А. Мочалова, «Локализация линейных волн», СПб, Изд-во С.-Петербур. ун-та, 2007.
3. В.А. Красильников, В.В. Крылов, «Введение в физическую акустику», Москва, Наука, 1984.
4. В.Т. Гринченко, В.В. Мелешко, «Гармонические колебания и волны в упругих телах», Киев, Наук. думка, 1981.
5. А.М. Косевич, «Физическая механика реальных кристаллов», Киев, Наук. думка, 1981.

Дополнительная литература

1. И.А. Виктор, «Звуковые поверхностные волны в твердых телах», Москва, Наука, 1981.
2. С.В. Бирюков, Ю.В. Гуляев, В.В. Крылов, В.П. Плесский, «Поверхностные акустические волны в неоднородных средах», Москва, Наука, 1981.
3. Л.М. Бреховских, «Волны в слоистых средах», 2-е изд., Москва, Наука, 1973.
4. В.Е. Лямов, «Поляризационные эффекты и анизотропия взаимодействия акустических волн в кристаллах», Москва, Изд-во Моск. ун-та, 1983.
5. Э. Дьелесан, Д. Руайе, «Упругие волны в твердых телах. Применение для обработки сигналов», пер. с англ., Москва, Наука, 1982.
6. «Materials and Acoustics Handbook», ed. M. Brunea, K. Potel, London, ISTE-WILEY, 2009.
7. «Ultrasonic Wave Propagation in Non Homogeneous Media», ed. A. Leger, M. Deschamps, Berlin, Springer, 2009.
8. «Formulas of Acoustics», 2nd ed., ed. F.P. Mechel, Berlin, Springer, 2008.

10. Перечень ресурсов Интернет необходимых для освоения дисциплины:

- <https://babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=mdp.39015072622890;view=1up;seq=7>
- http://www.rfbr.ru/rffi/ru/books/o_1782364#1

11. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Тематика курса охватывает довольно обширную область современных знаний. Поэтому при его изучении в первую очередь следует уделять внимание знакомству с основными понятиями и сутью теоретических методов, используемых в данной дисциплине. Для практического освоения студентами трех наиболее эффективных современных методов решения задач, представляемых в спецкурсе, им предлагаются индивидуальные задачи повышенной сложности по каждому из данных методов. Предполагается, что студенты будут решать эти задачи в активной дискуссии и взаимодействии с преподавателем.

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

13. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Аудитория с доской, фломастеры или мел, иллюстративный материал.

Автор к.ф.-м.н., снс **Можаев** Владимир Геннадиевич, кафедра акустики физического факультета МГУ