

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова»
физический факультет

УТВЕРЖДАЮ

И.о. декана физического факультета МГУ,
профессор, д.ф.-м.н.

/ В.В. Белокуров /

« _____ » _____ 20 _____ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Линейные акустические метаматериалы

Linear Acoustic Metamaterials

(1.3.7 Акустика)

Уровень высшего образования:

подготовка кадров высшей квалификации

Москва 2024

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с Приказом по МГУ от 24 ноября 2021 года № 1216 «Об утверждении Требований к основным программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре, самостоятельно устанавливаемые Московским государственным университетом имени М.В.Ломоносова»

1. Краткая аннотация.

Линейные акустические метаматериалы

Целью данного спецкурса является обзор современного состояния линейных акустических метаматериалов. Рассматриваются способы классификации линейных акустических метаматериалов, основные параметры, характеризующие рассматриваемые метаматериалы: коэффициент Пуассона, коэффициент теплового расширения, линейная сжимаемость и их особенности в линейных акустических метаматериалах. Особое внимание уделяется знакомству с результатами экспериментов и применению линейных акустических метаматериалов.

2. Уровень высшего образования - подготовка кадров высшей квалификации.

3. Научная специальность: 1.3.7 Акустика

4. Место дисциплины (модуля) в структуре Программы аспирантуры: Вариативная часть ООП. Факультатив.

5. Объем дисциплины (модуля) 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:

Объем дисциплины составляет 3 зачетные единицы, всего 108 часов, из которых 40 часов составляет контактная работа аспиранта с преподавателем, 36 часов занятия лекционного типа, 4 часа мероприятия текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации), 68 часов составляет самостоятельная работа учащегося.

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

Необходимы знания общей физики в объеме курсов, преподаваемых на физических специальностях классических университетов, полученных на предыдущих уровнях высшего образования.

7. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам

	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, промежуточной аттестации	Всего	Выполнение домашних заданий	Подготовка к коллоквиумам	Всего
Тема 1. Понятие метаматериала. Краткий исторический экскурс. Типы метаматериалов. Понятие акустического метаматериала. Способы классификации акустических метаматериалов.	7	3					3	4		4
Тема 2. Распространение волн в периодических структурах. Одномерная решетка. Фазовая и групповая скорости. Собственные частоты.	8	3					3	5		5
Тема 3. Распространение волн в периодических структурах. Двумерная решетка. Брэгговское отражение. Трехмерные решетки. Зоны в трехмерных структурах.	7	3		3			3	4		4

Тема 4. Механизм работы акустических метаматериалов. Резонатор Гельмгольца. Пассивный резонатор Гельмгольца. Активный резонатор Гельмгольца.	7	3					3	4		4
Тема 5. Структурные метаматериалы с отрицательными механическими и термомеханическими индексами. Отрицательный коэффициент Пуассона. Отрицательный коэффициент теплового расширения. Отрицательная линейная сжимаемость.	7	3					3	4		4
Тема 6. Распространение акустических волн в метаматериалах. Волновое уравнение. Акустический импеданс. Потери энергии акустической волны при распространении через метаматериал.	7	3					3	4		4
Тема 7. Распространение акустических волн в акустических метаматериалах. Отрицательный коэффициент преломления. Анизотропия. Эффект фокусировки.	7	2					2	2	3	5
Текущая аттестация - коллоквиум	2					2	2			

Тема 8. Пассивные акустические метаматериалы. Субволновые метаатомы, их типы классификация и характеризующие параметры.	7	4					4	3		3
Тема 9. Пассивные акустические метаматериалы. Акустические метаповерхности, их классификация и характеризующие параметры.	7	2					2	5		5
Тема 10. Распространение и отражение акустических волн через пассивные акустические метаматериалы.	7	2					2	5		5
Тема 11. Моделирование акустических задач рассеяния методом конечных элементов. разложения по плоским волнам (PWE). Теория многократного рассеяния (MST). Метод конечных разностей во временной области (FDTD). Метод конечных элементов (FEM). Другие методы	8	2					2	6		6
Тема 12. Понятие активных акустических метаматериалов. Механизмы настройки: механический, пьезоэлектрический, магнитный/электрический, термический.	7	2					2	5		5

Тема 13. Применение акустических метаматериалов. Поглощение звука. Принцип работы звукопоглотителей на основе акустических метаматериалов. Акустические «черные дыры».	8	2					2	6		6
Тема 14. Применение акустических метаматериалов. Акустическая визуализация. Акустическая маскировка. Другие применения.	10	2					2	4	4	8
Промежуточная аттестация – зачёт.	2					2	2			
Итого	108						40			68

8. Образовательные технологии.

Используемые формы и методы обучения: лекции и самостоятельная работа аспирантов.

При проведении лекционных занятий преподаватель использует при необходимости аудиовизуальные, компьютерные и мультимедийные средства обучения, а также демонстрационные и наглядно-иллюстрационные (в том числе раздаточные) материалы.

Занятия по данной дисциплине проводятся с привлечением необходимых Интернет-ресурсов.

9. Учебно-методические материалы для самостоятельной работы по дисциплине (модулю):

10. Ресурсное обеспечение:

Перечень основной литературы:

1. Бреховских Л.М. “Волны в слоистых средах” // М.: Наука, 1973.
2. Бриллюэн, Л., Пароди, М. «Распространение волн в периодических структурах» // М.: Изд-во иностранной литературы, 1959.
3. Recent progress in acoustic metamaterials and active piezoelectric acoustic metamaterials - A review. Guosheng Ji, John Huber. Applied Materials Today 26(4):101260, 2021.
4. Rakesh Kumar, Manoj Kumar, Jasgurpreet Singh Chohan, Santosh Kumar. Overview on metamaterial: History, types and applications. 2021 Materials Today Proceedings 56(11)

Перечень дополнительной литературы:

1. Joao O. Cardoso, Joao Paulo Borges, Alexandre Velhinho. Structural metamaterials with negative mechanical/thermomechanical indices: A review. Progress in Natural Science: Materials International 31 (2021) 801–808.
2. Wael Akl and Amr Baz. Multi-cell Active Acoustic Metamaterial with Programmable Bulk Modulus. Journal of Intelligent Material Systems and Structures 2010; 21; 541;
3. Sanjay Kumar and Heow Pueh Lee. Recent Advances in Active Acoustic Metamaterials International Journal of Applied Mechanics. Vol. 11, No. 8 (2019) 1950081
4. Liu, D.; Hao, L.; Zhu, W.; Yang, X.; Yan, X.; Guan, C.; Xie, Y.; Pang, S.; Chen, Z. Recent progress in Resonant Acoustic Metasurfaces. Materials 2023, 16, 7044.

Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» (при необходимости):

1. Сайт журнала «Акустический журнал» <http://www.akzh.ru/>
2. Сайт журнала «Техническая акустика» <http://www.ejta.org/ru>

- Описание материально-технической базы.

Занятия проводятся в учебной аудитории, оснащенной необходимым учебным оборудованием для проведения лекционных и семинарских занятий.

11. Язык преподавания – русский

12. Преподаватели:

д.ф.-м.н., профессор Коробов Александр Иванович, e-mail: aikor@mail.ru, тел.: 8(495)9391821;

к.ф.-м.н., доцент Одина Наталья Ивановна, e-mail: niolina@mail.ru, тел.: 8(495)9391821;
 к.ф.-м.н. н.с. Ширгина Наталья Витальевна, e-mail: natalia.shirgina@gmail.com, тел.: 8(495)9391821.

Фонды оценочных средств, необходимые для оценки результатов обучения

Образцы домашних заданий:

1. Рассчитать собственные частоты для одномерной периодической решетки.
2. Применить метод разложения по плоским волнам для расчета зонной структуры для трехмерной периодической структуры.
3. Рассчитать собственные частоты для резонатора Гельмгольца.
4. Вывести волновое уравнение для скалярных акустических волн.
5. Применить метод конечных элементов для расчета зонной структуры метаматериала.

Вопросы для промежуточной аттестации – зачета

1. Опишите способы классификации акустических метаматериалов.
2. Опишите принципы работы акустических метаматериалов на основе резонаторов Гельмгольца.
3. Опишите особенности акустических метаматериалов с отрицательными механическими и термомеханическими индексами.
4. Охарактеризуйте пассивные акустические материалы, их типы и особенности.
5. Опишите принцип работы поглотителей звука на основе акустических метаматериалов.
6. Охарактеризуйте основные возможности применения акустических метаматериалов.

Методические материалы для проведения процедур оценивания результатов обучения

Зачет проходит по билетам, каждый из которых включает три вопроса. Уровень знаний аспиранта по каждому вопросу оценивается на «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно». В случае если на все вопросы был дан ответ, оцененный не ниже чем «удовлетворительно», аспирант получает общую оценку «зачтено».

Шкала оценивания знаний, умений и навыков

Результат освоения дисциплины	Критерии оценивания знаний, умений и навыков			
	2/ не зачтено	3/ зачтено	4/ зачтено	5/ зачтено
Знания	Отсутствие знаний принципов работы акустических метаматериалов.	Фрагментарные знания принципов работы акустических метаматериалов.	Общие, но не структурированные знания принципов работы акустических метаматериалов.	Сформированные систематические знания принципов работы акустических метаматериалов.
Умения	Отсутствие умений применять знания о	В целом успешное, но не	В целом успешное, но	Успешное и систематическое

	принципах работы акустических метаматериалов.	систематическое умение применять знания о принципах работы акустических метаматериалов.	содержащее отдельные пробелы умение применять знания о принципах работы акустических метаматериалов.	умение применять знания о принципах работы акустических метаматериалов.
Навыки	Отсутствие навыков (владений, опыта) решения научных задач в области принципов работы акустических метаматериалов.	Наличие отдельных навыков (наличие фрагментарного опыта) решения научных задач в области принципов работы акустических метаматериалов.	В целом, сформированные навыки (владения), но используемые не в активной форме для решения научных задач в области принципов работы акустических метаматериалов.	Сформированные навыки (владения), применяемые при решении задач в области принципов работы акустических метаматериалов.