

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

Нелинейные и активные акустические метаматериалы

Nonlinear and Active 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.

Нелинейные и активные акустические метаматериалы

Целью данного спецкурса является обзор современного состояния акустики нелинейных и активных акустических метаматериалов. Рассматриваются способы классификации нелинейных и активных акустических метаматериалов, основные параметры, характеризующие рассматриваемые метаматериалы. Рассматриваются возможности настройки параметров активных акустических метаматериалов. Особое внимание уделяется знакомству с результатами экспериментов и применению нелинейных и активных 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. Акустическая нелинейность в твердых телах. Типы нелинейности.	7	2					2	5		5
Тема 2. Структурная нелинейность на примере контакта Герца. Нелинейное взаимодействие. Нелинейное уравнение состояния.	8	2					2	6		6
Тема 3. Понятие метаматериала. Краткий исторический экскурс. Типы метаматериалов. Понятие акустического метаматериала. Способы классификации акустических метаматериалов.	7	3		3			3	4		4

Тема 4. Распространение волн в периодических структурах. Двумерная решетка. Зоны в двумерных решетках. Парциальные волны и Брэгговское отражение.	7	3					3	4		4
Тема 5. Распространение волн в периодических структурах. Трехмерные решетки. Полосы пропускания в трехмерных структурах	7	3					3	4		4
Тема 6. Активные акустические метаматериалы. Механизмы настройки: механический, пьезоэлектрический, магнитный/электрический, термический.	7	3					3	4		4
Тема 7. Активные пьезоэлектрические акустические метаматериалы (АМ). Активный пьезоэлектрический АМ с настраиваемой эффективной плотностью. Активный пьезоэлектрический АМ с настраиваемым модулем упругости.	7	3					3	4		4
Текущая аттестация - коллоквиум	2					2	2			
Тема 8. Нелинейные акустические метаматериалы.	7	4					4	3		3

Классификация, типы, особенности.										
Тема 9. Сверхнизко- и сверхширокополосные нелинейные акустические метаматериалы. Локально-резонансный механизм нелинейных акустических метаматериалов. Запрещенные зоны Брэгга. Одномерные и двумерные нелинейные акустические материалы.	7	3					3	4		4
Тема 10. Распространение упругих волн в нелинейных метаповерхностях. Волны Рэлея. Эффекты нелинейной силы взаимодействия и дисперсионные потери энергии волн Рэлея.	7	2					2	5		5
Тема 11. Акустический диод. Описание, принцип работы, волновое уравнение. Классификация акустических диодов.	8	2					2	6		6
Тема 12. Дуальные метаматериалы – фотон-фононные (фоксоны) и др.	7	2					2	5		5
Тема 13. Мягкие и пористые активные акустические метаматериалы.	8	2					2	6		6

Тема 14. Применение акустических активных и нелинейных метаматериалов.	10	2					2	8		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. Бриллюэн, Л., Пароди, М. «Распространение волн в периодических структурах» // М.: Изд-во иностранной литературы, 1959.
2. Recent progress in acoustic metamaterials and active piezoelectric acoustic metamaterials - A review. Guosheng Ji, John Huber. Applied Materials Today 26(4):101260, 2021.
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. Sanjay Kumar and Heow Pueh Lee. Recent Advances in Active Acoustic Metamaterials International Journal of Applied Mechanics. Vol. 11, No. 8 (2019) 1950081
5. Fang, X., Wen, J., Bonello, B. et al. Ultra-low and ultra-broad-band nonlinear acoustic metamaterials. Nat Commun 8, 1288 (2017).
6. Зарембо Л.К., Красильников В.А. Введение в нелинейную акустику. М.: Наука, 1966.
7. Джонсон К. Механика контактного взаимодействия. М.: Мир, 1989.

Перечень дополнительной литературы:

1. Бреховских Л.М. “Волны в слоистых средах” // М.: Наука, 1973.
2. Rakesh Kumar, Manoj Kumar, Jasgurpreet Singh Chohan, Santosh Kumar. Overview on metamaterial: History, types and applications. 2021 Materials Today Proceedings 56(11)
3. Wael Akl and Amr Baz. Multi-cell Active Acoustic Metamaterial with Programmable Bulk Modulus. Journal of Intelligent Material Systems and Structures 2010; 21; 541;
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.
5. Aditya Nanda, and M. Amin Karami. One-way sound propagation via spatio-temporal modulation of magnetorheological fluid. The Journal of the Acoustical Society of America 144, 412 (2018).

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: niodina@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. Вывести уравнение состояния для одномерной цепочки шаров, взаимодействующих по закону Герца.
3. Применить метод разложения по плоским волнам для расчета зонной структуры для трехмерной периодической структуры.
4. Применить метод конечных элементов для расчета зонной структуры метаматериала.

Вопросы для промежуточной аттестации – зачета

1. Опишите способы классификации акустических метаматериалов.
2. Охарактеризуйте активные акустические материалы, их типы и способы настройки.
3. Опишите локально-резонансный механизм работы нелинейных акустических метаматериалов.
4. Опишите механизм распространения волн в нелинейных метаповерхностях.
5. Опишите принцип работы акустического диода.
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 нелинейных и активных акустических метаматериалов	Фрагментарные знания принципов работы нелинейных и активных акустических	Общие, но не структурированные знания принципов работы нелинейных и	Сформированные систематические знания принципов работы нелинейных и активных

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