

**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:

Теоретические основы акустики

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. Доктор физико-математических наук, доцент Сапожников Олег Анатольевич, кафедра акустики физического факультета МГУ.
2. Доктор физико-математических наук, доцент Румянцева Ольга Дмитриевна, кафедра акустики физического факультета МГУ.
3. Кандидат физико-математических наук, доцент Кравчун Павел Николаевич, кафедра акустики физического факультета МГУ.
4. Кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Можяев Владимир Геннадиевич, кафедра акустики физического факультета МГУ.

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

Аннотация к рабочей программе дисциплины

Предметом курса является систематическое изложение базовых теоретических понятий и методов классической линейной акустики, позволяющих описать излучение, распространение и рассеяние звуковых волн как в неограниченных газообразных, жидких средах и упругих твердых телах с учетом наличия в них неоднородностей и рассеивателей, так и в ограниченных средах (волноводах, замкнутых объемах и др.). Рассмотрение сопровождается математически строгим описанием явлений, а также анализом допущений и приближений, принятых при математической формулировке проблемы. Знание основных теоретических положений нужно как для последующего изучения студентами специальных курсов на кафедре акустики, так и для самостоятельной практической работы. Дисциплина реализуется на 4 курсе в 7 семестре специалитета, входит в вариативную часть и является обязательной для освоения обучающимися по специализации «Акустика».

Объем дисциплины составляет 3 з.е., в том числе 72 академических часа, отведенных на контактную работу обучающихся с преподавателем, и 36 академических часов, отведенных на самостоятельную работу обучающихся.

Промежуточная аттестация по дисциплине – экзамен в 7 семестре.

1. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Дисциплина «Теоретические основы акустики» входит в вариативную часть программы специалитета «Фундаментальная и прикладная физика» (блок «Профессиональный» вариативной части) и является обязательной для освоения обучающимися по специализации «Акустика».

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

Предполагается, что слушатели владеют базовыми методами математической физики, знают основы 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 теоретические основы линейной акустики. Уметь использовать знания по основам линейной акустики в практике научных исследований. Владеть основными методами ведения теоретических расчетов и научных исследований в области базовых задач линейной акустики.

4. Объем дисциплины (модуля) составляет 3 з.е., в том числе: 72 академических часа, отведенных на контактную работу обучающихся с преподавателем, 36 академических часов, отведенных на самостоятельную работу обучающихся.

Контактная работа включает в себя занятия лекционного типа (лекции).

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>				Всего		
		Занятия лекционного типа (лекции)	Занятия семинарского типа					
			Семинары	Лабораторные занятия*	Практические занятия*			
Звуковые волны. Уравнения гидродинамики идеальных жидкостей и газов; приближение линейной акустики. Волновое уравнение и граничные условия для идеальных сред. Плоские и сферически-симметричные волны в однородной безграничной среде, их основные свойства, волновой импеданс. Ближнее и дальнее поле сферически-симметричной волны.	6	4				4	2	
Отражение и преломление плоских волн. Граничные условия. Отражение и преломление плоских волн на	6	4				4	2	

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

плоской границе раздела жидких и газообразных сред. Явление полного внутреннего отражения.								
Излучение звука простейшими источниками. Излучение звука пульсирующей сферой и совокупностью монополюсных излучателей. Излучение акустического диполя; диаграмма направленности излучения. Функция Грина для однородной безграничной среды. Функции Грина для полупространств с жесткой и мягкой границей. Теорема взаимности. Принцип Гюйгенса для внутренней и внешней областей. Условия излучения Зоммерфельда. Интеграл Рэлея.	9	6				6	3	
Дифракция и рассеяние звука. Дифракция на отверстиях, экранах и крупных препятствиях в приближении Кирхгофа. Принцип Бабиня. Рассеяние звука на бесконечном круговом цилиндре; диаграмма рассеяния. Сечение рассеяния.	6	4				4	2	<i>Контрольная работа</i>
Рассеяние звука неровными поверхностями. Метод граничных интегральных уравнений. Метод углового спектра. Рассеяние на малых случайных неровностях (метод возмущений). Рассеяние на крупномасштабных неровностях (метод Кирхгофа).	9	6				6	3	
Акустика неоднородной движущейся среды. Вывод уравнения акустики неоднородной неподвижной среды. Лучевой подход к описанию акустических полей. Вывод уравнения эйконала в акустике. Определение луча. Уравнения эйконала и переноса и их физический смысл.	9	6				6	3	

Дифференциальное уравнение луча. Пределы применимости приближения геометрической акустики. Лучевая картина в подводном звуковом канале. Поведение лучей в стратифицированной атмосфере. Вывод уравнения акустики неоднородной среды в случае, когда среда движется. Распространение звука в движущейся среде в лучевом приближении.								
Излучение звука движущимися источниками. Физические процессы, лежащие в основе процесса излучения волн движущимися источниками. Неоднородное волновое уравнение для акустического поля. Решение в виде запаздывающих потенциалов Льенара-Вихерта. Излучение звука движущимся точечным источником. Эффект Доплера. Излучение равномерно движущегося сверхзвукового источника; конус Маха.	9	6				6	3	<i>Контрольная работа</i>
Акустические волны в регулярных волноводах. Нормальные волны. Распространяющиеся и не распространяющиеся моды. Критические частоты. Дисперсия нормальных волн.	6	4				4	2	
Волны в отрезках труб. Акустические четырехполосники. Характеристическая матрица, входной импеданс. Нерегулярный волновод со скачком сечений. Резонатор Гельмгольца.	6	4				4	2	
Волноводы с медленно меняющимся сечением. Уравнение Вебстера и его	6	4				4	2	

частные решения. Критическая частота рупора.								
Понятие об акустическом согласовании сред. Одночастотное согласование двух сред с помощью плоскопараллельного слоя. Четвертьволновый согласующий слой.	3	2				2	1	
Звуковые поля в замкнутых объемах. Основы статистической теории реверберации. Диффузное поле. Формула Сэбина. Критерии акустического качества помещений.	6	4				4	2	<i>Контрольная работа</i>
Упругие волны в изотропных твердых телах. Тензоры деформации и напряжения. Закон Гука. Уравнения движения изотропных твердых тел. Продольные и поперечные волны в твердых телах.	3	2				2	1	
Отражение и преломление акустических волн на границах раздела сред. Граничные задачи акустики твердого тела. Условия на границах раздела. Отражение горизонтально и вертикально поляризованных сдвиговых волн от свободной границы твердого тела.	6	4				4	2	
Распространение акустических волн в ограниченных твердых телах. Метод отражения в задачах распространения граничных волн. Акустические волны на свободной поверхности твердого тела, на границах раздела твердых тел, твердого тела и жидкости.	5	4				4	1	
Сдвиговые волны в пластинах. Определение характеристик горизонтально	5	4				4	1	

поляризованных мод методом отражений. Волны Лява: парциальное представление и дисперсионные свойства.								
Вертикально поляризованные моды пластин. Продольные и изгибные волны в пластинах. Дисперсионные соотношения Рэлея-Лэмба.	5	4				4	1	<i>Контрольная работа</i>
Промежуточная аттестация_экзамен_	3						3 ²	<i>Экзамен</i>
Итого	108	72					36	

*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:

Вопросы к экзамену по дисциплине «Теоретические основы акустики»:

1. Уравнения гидродинамики идеальной жидкости, их линеаризация. Волновое уравнение и граничные условия в случае идеальных сред.
2. Плоские волны в однородной безграничной среде, их основные свойства, волновой импеданс.
3. Сферически-симметричные волны в однородной безграничной среде, их основные свойства, волновой импеданс. Ближнее и дальнее поле сферически-симметричной волны.
4. Отражение и преломление плоских волн на плоской границе раздела двух жидких и газообразных сред.
5. Явление полного внутреннего отражения.
6. Излучение пульсирующей сферы. Излучение монополя.
7. Излучение звука совокупностью монопольных излучателей. Излучение акустического диполя.
8. Функция Грина однородной безграничной среды. Теорема взаимности.
9. Функции Грина для полупространств с жесткой и мягкой границей. Интеграл Рэлея.
10. Принцип Гюйгенса для внутренней и внешней областей. Условия излучения Зоммерфельда.
11. Дифракция на отверстиях и экранах в приближении Кирхгофа. Принцип Бабинне.
12. Рассеяние звука на бесконечном круговом цилиндре; диаграмма рассеяния. Сечение рассеяния.
13. Метод граничных интегральных уравнений в теории излучения и рассеяния.
14. Угловой спектр волны и его использование для решения задачи излучения плоскостью.
15. Рассеяние на слабо шероховатой поверхности: метод Рэлея на примере расчета рассеяния плоской волны на абсолютно мягкой шероховатой поверхности.
16. Рассеяние на поверхности с крупномасштабными неровностями: метод касательной плоскости, расчет излучения в дальней зоне.
17. Приближение геометрической акустики для плавно неоднородной неподвижной среды: вывод уравнения эйконала и переноса.
18. Акустика неоднородной движущейся среды: схема применения метода геометрической акустики, связь фазовой и групповой скорости со скоростью ветра.
19. Излучение движущегося точечного источника. Особенности излучения сверхзвукового источника.
20. Эффект Доплера при движении точечного источника.
21. Нормальные волны в волноводах постоянного сечения. Распространяющиеся и нераспространяющиеся моды. «Критические» частоты.
22. Нормальные волны в плоском слое с идеальными границами. Критические частоты. Низкочастотная полоса «непропускания» слоя. Асимптотика $kr \gg 1$.
23. Теория волновода конического сечения. Входной импеданс. Конический, экспоненциальный и катеноидальный рупоры.

24. Реверберация в замкнутых объемах (статистическая теория). Понятие о диффузном поле. Уравнение баланса звуковой энергии в замкнутом объеме, его решение.
25. Акустические резонаторы малых волновых размеров. Резонатор Гельмгольца (входной импеданс, резонансная частота).
26. Отражение плоской волны от жидкого плоскопараллельного слоя. Характеристическая матрица слоя. Входной импеданс слоя.
27. Прохождение плоской волны через соединение труб разных диаметров. Эффект трансформации импедансов.
28. Уравнение распространения волн в волноводе с медленно меняющимся поперечным сечением (уравнение Вебстера), его частные решения.
29. Акустическое согласование. Одночастотное согласование двух сред с помощью плоскопараллельного слоя.
30. Акустические поля в замкнутых объемах. Основы статистической теории реверберации (асимптотика высоких частот, формула Сэбина). Стандартное время реверберации.
31. Собственные колебания в прямоугольных помещениях. Аксиальные, тангенциальные и косые моды. Реверберация мод.
32. Дисперсия нормальных волн в волноводе постоянного сечения. Фазовая и групповая скорости. Разложение нормальной волны на сумму плоских волн. "Лучи" Бриллюэна.
33. Отрезок волновода постоянного сечения как четырехполюсник. Характеристическая матрица, входной импеданс отрезка волновода (низкочастотное приближение).
34. Тензоры деформации и напряжения. Закон Гука для изотропных тел.
35. Модули упругости при различных деформациях изотропных твердых тел (безграничное тело, пластина, стержень).
36. Метод поверхностей рефракции для анализа отражения и преломления упругих волн. Общие закономерности отражения и преломления акустических волн на границах изотропных тел (условия фазового синхронизма, связь углов отражения и преломления, трансформация типов волн, критические явления).
37. Продольные и поперечные волны в твердых телах (уравнения движения, поляризация, связь между скоростями).
38. Волны Стоунли: условия существования, структура смещений и дисперсионные соотношения.
39. Коэффициенты отражения SV-сдвиговых волн от свободной границы изотропного твердого тела. Критические и Брюстеровские явления при отражении.
40. Неоднородные упругие волны: фазовая скорость, поляризация, структура смещений и кривые рефракции.
41. Метод отражения в задачах распространения граничных волн. Комплексные углы отражения и неоднородные волны. Парциальное представление упругого возмущения на границе твердых тел. Определение скорости и поляризации граничной волны.
42. Волны Рэлея: решение методом отражения, дисперсионные характеристики и структура смещений.
43. Характеристики SH-мод в твердых пластинах (решение методом отражения, модовый состав, структура смещений).

6.2. Шкала и критерии оценивания

7. Ресурсное обеспечение

Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Основная литература:

1. Крылов В.В. Основы теории излучения и рассеяния звука. – М.: МГУ, 1989.
2. Исакович М.А. Общая акустика. – М.: Наука, 1973.
3. Скучик Е. Основы акустики, т.1, 2. – М.: Мир, 1976.
4. Ржевкин С.Н. Лекции по теории звука. – М.: МГУ, 1960.
5. Басс Ф.Г., Фукс И.М. Рассеяние волн на статистически неровной поверхности. - М.: Наука, 1972.
6. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Гидродинамика, Глава VIII: «Звук». – М.: Наука, 1986.
7. Виноградова М.Б., Руденко О.В., Сухоруков А.П. Теория волн. – М.: URSS, 2019.
8. Красильников В.А., Крылов В.В. Введение в физическую акустику. – М.: Наука, 1984.
9. Шендеров Е.Л. Излучение и рассеяние звука. Л.: Судостроение, 1989.
10. Блохинцев Д.И. Акустика неоднородной движущейся среды. – М.: Наука, 1981.
11. Бреховских Л.М. Волны в слоистых средах. – М.: АН СССР, 1957.
12. Акустика в задачах (под ред. Гурбатова С.Н. и Руденко О.В.) – М.: Физматлит, 2009.
13. Pierce A. Acoustics: An Introduction to Its Physical Principles and Applications. – Acoustical Society of America, 1989.
14. Морз Ф. Колебания и звук. М.: 1950.
15. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теория упругости. – М.: Наука, 1965.
16. Auld В.А., Acoustic fields and waves in solids, N.Y.: Wiley & Sons, v.II, 1974.
17. Викторов И.А. Звуковые поверхностные волны в твердых телах. - М.: Наука, 1981.
18. Гринченко В.Т., Мелешко В.В. Гармонические колебания и волны в твердых телах. - Киев: Наук. думка, 1981.

Дополнительная литература:

1. Горюнов А.А., Сасковец А.В. Обратные задачи рассеяния в акустике. М.: МГУ, 1989.
2. Хенл Х., Мауэ А., Вестпфаль К. Теория дифракции, М.: Мир, 1969. Гл. I, За; Гл. II, 1; Гл. III, 1а, 2а, 4а (п.76).
3. Осташев В.Е. Распространение звука в движущихся средах. – М.: Наука, 1992.
4. Бриллюэн М., Пароди М. Распространение волн в периодических структурах. М.: Иностранная литература, 1959.

Периодическая литература

1. Акустический журнал.
2. Journal of the Acoustical Society of America.

Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»
<http://acoustics.phys.msu.ru>, <http://www.akin.ru>, akzh.ru, akdata.ru, akinfo.ru

Описание материально-технической базы

Учебная аудитория физического факультета.

Проектор, компьютер

8. Язык преподавания: русский.