

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 жидкостей и газов

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:

к. ф.-м. н., доцент Маков Юрий Николаевич, кафедра акустики физического факультета МГУ

Заведующий кафедрой

д. ф.-м. н., профессор, академик РАН Руденко Олег Владимирович, заведующий кафедрой акустики

Аннотация к рабочей программе дисциплины «Физическая акустика жидкостей и газов»

Рабочая программа дисциплины «Физическая акустика жидкостей и газов» представляет учебный лекционный курс, охватывающий широкий круг физических явлений, связанных с прохождением акустических (упругих) волн через различные по своей физической природе и свойствам среды. Необходимость изучения этого курса в теоретическом и прикладном аспектах определяется тем, что разнообразные возможности активного воздействия распространяющимися акустическими (упругими) волнами на саму среду распространения, а также методы акустической диагностики сред посредством распространяющихся по ним акустических волн широко используются в различных областях науки и технических применениях. Кроме того, рабочая программа курса акцентирует внимание на том, что многие важнейшие физические эффекты и явления имеют «акустическое происхождение», например, акустическая кавитация, сонолюминесценция, сонохимия, акустическая спектроскопия и многое другое. По этой причине в данном курсе наряду с изучением более «традиционных» тем (например, релаксационная теория сред, акустическая кавитация) также большое внимание уделено самым современным проблемам, таким как сонотермоид, проблема создания сазера, акустические методы фиксации нейтрино и др.

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

Объем дисциплины составляет 3 з.е., в том числе 34 академических часа, отведенных на контактную работу обучающихся с преподавателем и 74 академических часа, отведенных на самостоятельную работу обучающихся.

Промежуточной аттестацией по данной дисциплине является экзамен в 10-м семестре.

1. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Дисциплина «Физическая акустика жидкостей и газов» относится к базовой части, является обязательной для освоения обучающимися по программе специалитета «Акустика» на кафедре акустики физического факультета МГУ.

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

Предполагается, что слушатели имеют устойчивые знания, полученные на предыдущих курсах специалитета и активно владеют базовыми методами математической 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
		<p>Знать: физическую сущность основополагающих явлений и процессов, связанных с прохождением акустических волн через различные по своей природе и свойствам среды, а также математические модели (уравнения) для описания этих явлений и процессов.</p> <p>Уметь: использовать полученные знания для анализа и решения задач в разных областях науки и техники по акустической диагностике сред и активному акустическому воздействию на них.</p> <p>Владеть: теоретическими и экспериментальными методами исследования эффектов, связанных с акустическими процессами в различных средах и условиях.</p>

4. Объем дисциплины (модуля) составляет 3 (три) з.е., в том числе: 34 академических часа, отведенных на контактную работу обучающихся с преподавателем и 74 академических часа, отведенных на самостоятельную работу обучающихся.

Контактная форма обучения включает в себя:

- а) занятия лекционного типа,
- б) контрольные работы в аудитории (разной продолжительности и трудоемкости),
- в) разбор и обсуждение результатов выполнения контрольных заданий, выполненных в аудитории или в виде домашней работы,
- г) групповые консультации.

Самостоятельная работа, составляющая официально запланированную часть учебного процесса изучения данного курса, направлена на: а) «закрепление» и дополнительную «проработку» лекционного материала, б) на самостоятельное изучение (и повторение) некоторых разделов физики и математики, необходимых для изучения данной дисциплины, в) для выполнения задаваемых на дом заданий (в основном, решение задач).

Аудиторные лекции, составляющие основу учебного программного материала, по отдельным тематическим разделам Программы дополняются передачей «расширенных» и «углубленных» учебных сведений обучающимся (магистрантам) дистанционно, используя средства электронного обучения и дистанционные образовательные технологии. Основной целью использования этих образовательных технологий является разъяснение и дополнение лекционного материала, а также методическая и консультационная помощь в выполнении плановой самостоятельной работы, составляющей существенную часть деятельности студентов при освоении дисциплины.

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					Всего		
		Занятия лекционного типа (лекции)	Занятия семинарского типа			Всего			
Семинары	Лабораторные занятия*		Практические занятия*	Всего					
Основные принципы формирования научного направления «Физическая акустика» и данного учебного курса. Необходимые сведения по реологии сред, которые будут объектом анализа в данном курсе.	8	2				2	6	ДЗ, ОП	
Акустика неидеальных жидких сред: вывод волнового акустического уравнения, анализ дисперсионного соотношения, выражение для коэффициента затухания (коэффициента Стокса-Кирхгофа), расхождение полученных теоретических данных с экспериментальными результатами в части частотной зависимости.	12	4				4	8	ДЗ, ОП	
Акустика сред с релаксацией: расширение моделей жидких и газообразных сред путем учета релаксационных свойств, феноменологическая теория релаксации Мандельштама – Леонтовича.	12	4				4	8	ДЗ, ОП	
Линейный анализ существования 3-х мод (трех типов возмущений) в безграничной жидкой неидеальной среде, разный тип (волновой, не волновой) этих мод, линейный и	10	2				2	8	ДЗ, ОП	

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

нелинейный режимы взаимодействия мод								
Акустика и гидродинамика сверхтекучей жидкости (на примере He II). Трансформация энтропийной (тепловой) моды в данной среде в волновую моду («второй звук»)	10	4				4	6	ДЗ, ОП
Акустика вязкоупругих сред, основные модели (Кельвина-Фойхта и Максвелла) и уравнения этого класса сред.	12	4				4	8	контрольная работа
Акустическая кавитация, условия нарушения сплошности жидкой среды и образования каверн (пузырьков). Динамика изменения радиуса пузырька, уравнение Рэлея и условия его действия. Влияние различных факторов (газопаровое наполнение, поверхностное натяжение, диссипация, диффузия с окружающей средой, сжимаемость окружающей среды) на динамику пузырька	14	6				6	8	ДЗ, ОП
Обзор характерных эффектов и процессов, связанных с кавитацией: критические значения физических параметров при кавитации, сонолюминисценция, возможности реализации «сонотермоада», роль кавитации в различных процессах и технологиях, кавитация в медицине.	10	2				2	8	ДЗ, ОП
Распространение акустических волн в пузырьковых средах, дисперсия, нелинейные эффекты.	12	4				4	8	ДЗ, ОП
Обзорные темы: а) термоакустические эффекты в жидких средах, б) акустика фазовых переходов и критических явлений, в) методы визуализации акустических полей.	4	2				2	2	ДЗ, ОП
Промежуточная аттестация: <u>ЭКЗАМЕН</u>	4						4	<i>экзамен</i>
Итого	108	34					74	

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

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

а) примеры домашних заданий по дисциплине «Физическая акустика жидкостей и газов»

1. получить (вывести) уравнение линейной акустики для стратифицированной по плотности идеальной жидкой среды;
2. зная (найдя) закон движения границы сферического пузырька, уметь вычислять поле скорости или давления в любой точке жидкости вокруг изменяющего свой радиус пузырька;
3. проанализировать возможные нелинейные эффекты при распространении акустической волны в жидкой среде с газовыми пузырьками;

б) примеры тем для обсуждений по дисциплине «Физическая акустика жидкостей и газов»:

- каковы перспективы и объективные трудности в создании хотя бы демонстрационного макета «сазера» и реализации процесса «акусто-кавитационного (пузырькового) термояда (сонотермояда)»;
- роль кавитации в технологиях медицинской акустики;
- возможности акустической спектроскопии в современных приложениях;
- как определить объект(ы) изучения и методы «наноакустики».

в) примеры контрольных вопросов и задач для контрольных работ по дисциплине «Физическая акустика жидкостей и газов»:

Исходя из уравнения состояния для акустической среды с релаксацией (экспоненциальное ядро) определить реакцию возмущения плотности на мгновенный скачок (в виде ступенчатой функции) акустического давления.

Получить в линейном приближении уравнения распространения продольных волн в квазиодномерном стержневом образце из вязкоупругих материалов Кельвина-Фойгта и Максвелла. Исследовать эти уравнения на основе дисперсионного соотношения.

Решить линейную задачу о прохождении плоской гармонической волны через жидкость с газовыми пузырьками с учетом (одновременным) диссипации в самой жидкости и ее влияния на колебания пузырьков.

г) опросы студентов по дисциплине «Физическая акустика жидкостей и газов» являются проверкой выполнения домашних заданий (см. раздел «а) примеры домашних заданий»).

д) Экзаменационные вопросы к зачету по дисциплине «Физическая акустика жидкостей и газов»:

1. Предмет и задачи «Физической акустики газообразных, жидких и вязкоупругих сред». Значение многотомника «Физическая акустика» под ред. У. Мэзона для изучения данной дисциплины
2. Получение уравнений линейной акустики из уравнений гидродинамики (в т.ч. для неоднородных и неидеальных сред).
3. Экспериментальные и теоретические предпосылки введения моделей сред с релаксацией. Физическое содержание этих моделей.
4. Феноменологическая теория релаксации Мандельштама – Леонтовича. Простейшая модель акустики сред с релаксацией.
5. Исследование дисперсионных свойств акустического волнового уравнения в средах с релаксацией. Частотные свойства скорости звука и коэффициента затухания.
6. Линейная акустика сред с релаксацией (общий случай закона релаксации).
7. Релаксация за счет проявления вязкоупругих свойств жидкости. Модели Максвелла и Кельвина-Фойхта.
8. Кавитация (гидродинамическая и акустическая). Теоретические и реальные условия разрыва сплошности жидкости; возникновение кавитации. Вывод уравнения динамики воздушной полости в жидкости.
9. Решение задачи о схлопывании пустой полости в жидкости. Основные закономерности.
10. Динамика пузырька с газом.
11. Влияние различных физических факторов на динамику пузырька. Динамика пузырька под действием акустической волны.
12. Распространение волн в среде с пузырьками. Дисперсионное уравнение.
13. Нелинейные эффекты при распространении волн в среде с пузырьками.
14. Гидродинамика и акустика сверхтекучих сред на примере He II.
15. Проблема создания сазера. Сонолюминесценция. Возможность реализации сонотермоада.

6.2. Шкала и критерии оценивания:

Уровень знаний обучающегося на экзамене оценивается по 4-х бальной системе: "отлично", "хорошо", "удовлетворительно", "неудовлетворительно".

Оценка "**отлично**" выставляется, если обучающийся демонстрирует сформированные систематические знания, умения и навыки их практического использования.

Оценка "**хорошо**" ставится, если при демонстрации знаний, умений и навыков студент допускает отдельные неточности (пробелы, ошибочные действия) непринципиального характера.

Оценка «**удовлетворительно**» выставляется при несистематических знаниях, демонстрации отдельных (но принципиально значимых навыков) при затруднениях в демонстрации значительного числа других навыков.

Оценка "**неудовлетворительно**" ставится, если знания и умения фрагментарны, а навыки отсутствуют.

Более детальный набор критериев оценивания результатов освоения изучаемой дисциплины с соответствием конкретной оценке представлен в виде следующей таблицы:

ШКАЛА И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ результатов обучения (РО) по дисциплине (модулю)

Оценка	2	3	4	5
РО и соответствующие виды оценочных средств				
Знания <i>(виды оценочных средств: устные и письменные опросы и контрольные работы, тесты, и</i>	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Сформированные систематические знания
Умения <i>(виды оценочных средств: практические контрольные задания, написание и защита рефератов на заданную тему и т.п.)</i>	Отсутствие умений	В целом успешное, но не систематическое умение	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение (допускает неточности непринципиального характера)	Успешное и систематическое умение
Навыки (владения, опыт деятельности) <i>(виды оценочных средств: выполнение и защита курсовой работы, отчет по практике, отчет по НИР и т.п.)</i>	Отсутствие навыков (владений, опыта)	Наличие отдельных навыков (наличие фрагментарного опыта)	В целом, сформированные навыки (владения), но используемые не в активной форме	Сформированные навыки (владения), применяемые при решении задач

7. Ресурсное обеспечение

Перечень основной и дополнительной учебной литературы:

Основная литература

1. Физическая акустика / под ред. У. Мэзона, пер. с англ. - М.: Мир, тт. 1 (1966 г.)–7 (1974 г.).
2. Красильников В.А., Крылов В.В., Введение в физическую акустику. М.: Наука, 1984.
3. Михайлов И.Г., Соловьев В.А., Сырников Ю.П. Основы молекулярной акустики. М.: Наука, 1964.
4. Кнэпп Р., Дейли Дж., Хэммит Ф. Кавитация. М.: Мир, 1974.

Дополнительная литература

1. Руденко О.В. Актуальные проблемы, связанные с нелинейной акустикой. Сб. Нелинейные волны – 2006. Нижний Новгород: ИПФ РАН, 2007. С. 151–169.
2. Гусев В.Э., Карабутов А.А. Лазерная оптоакустика. М.: Наука, 1991.
3. Паташинский А.З., Покровский В.Л., Флуктуационная теория фазовых переходов, М.: Наука, 1975.

Источники из периодических изданий

1. *Маков Ю.Н.*, Оболочечные микропузырьки: развитие эхо – контрастных систем в медицинской акустике, динамические модели с нелинейно-упругими оболочками // Акуст. журн. 2009. Т. 55. № 4-5. С. 536-545.
2. *Rudenko O.V., Sarvazyan A.P.*, Three types of nonlinearity in physics of radiation force and acoustical streaming // J. Acoust.Soc.Am. 2010. V.128. No.4. Pt.2. P.2337.
3. *Sarvazyan A.P., Rudenko O.V., Nyborg W.L.* Biomedical applications of radiation force of ultrasound: Historical roots and physical basis // Ultrasound in Medicine and Biology. 2010. V.36. No.9. P.1379-1394.
4. *Маков Ю.Н.* О возможности существования солитонов («акустических пульс») в бездисперсионной нелинейной акустике // Акустика неоднородных сред. Сборник трудов семинара научной школы профессора С.А. Рыбака, М., 2004, С. 55-60.

Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

http://www.imec.msu.ru/content/nio/VanDaik/vd_main.html - альбом течений жидкости и газа
<http://www.akzh.ru> - архив всех выпусков «Акустического журнала» с прямым доступом к полнотекстовым отображениям всех статей (на рус. яз),
<http://akinfo.ru> - сигнальная информация (аннотирование) относительно новой литературы (журналы, периодические издания, книги, сборники и др.) по всем разделам научной области «Акустика», включая междисциплинарные направления
<http://www.physicalacoustics.org> - интернет-страница Технического комитета Американского Акустического Общества по ФИЗИЧЕСКОЙ АКУСТИКЕ

Описание материально-технической базы
Учебная аудитория физического факультета.
Проектор, компьютер

8. Язык преподавания: русский.