

Рабочая программа дисциплины

1. Название дисциплины: Физическая акустика газообразных, жидких и вязкоупругих сред

2. Лекторы.

2.1. к. ф.-м. н., доцент Маков Юрий Николаевич, кафедра акустики, yuri_makov@mail.ru, тел. +7(495)939-29-43.

3. Аннотация дисциплины.

Являясь одним из основополагающих учебных комплексов в обучении магистров по специальности «Физическая и прикладная акустика», представляемый данной программой курс охватывает широкий круг физических явлений, связанных с прохождением акустических (упругих) волн через различные по своей физической природе и свойствам среды (в данном курсе рассматриваются газообразные, жидкие и вязкоупругие 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 этого, ряд разделов курса опирается на то, что многие важнейшие физические эффекты и явления имеют «акустическое происхождение», например, акустическая кавитация, сонолюминесценция, сонохимия, акустическая спектроскопия и многое другое. Отметим, что наряду с освещением более традиционных вопросов (релаксационная теория сред, акустическая кавитация) большое внимание уделено самым современным проблемам, таким как сонотермояд, проблема создания *sazera*, акустические методы фиксации нейтрино и др.

4. Цели освоения дисциплины.

Цели освоения дисциплины состоят в понимании обучающимися физического содержания процессов взаимодействия акустических волн со средой распространения, в освоении математических моделей изучаемых систем и процессов, математических методов анализа этих систем и процессов, а также в приобретении кругозора и ориентации относительно современных достижений и тенденций в изучаемой научной области.

5. Задачи дисциплины.

Основными задачами дисциплины, являются: (1) систематическое изложение важнейших физических явлений, проявляющихся при распространении акустических волн в различных средах, а также изучение эффектов и явлений «акустического происхождения», (2) ознакомление с прикладным использованием изучаемых явлений и эффектов; (3) активное овладение изучаемым материалом через решение характерных задач физической акустики.

6. Компетенции.

6.1. Компетенции, необходимые для освоения дисциплины.

М-ОНК-2; М-ИК-2.

6.2. Компетенции, формируемые в результате освоения дисциплины.

М-ОНК-2; М-ИК-2; М-ИК-3; М-ПК-1; М-ПК-2; М-ПК-3; М-ПК-5; М-ПК-6; М-СПК-1.

7. Требования к результатам освоения содержания дисциплины

В результате освоения дисциплины обучающийся должен хорошо понимать физическую сущность изучаемых явлений и эффектов, связанных с акустическим влиянием на среды, процессы и т.п., а также иметь полную информацию о методах акустического анализа изучаемых сред и систем. Должно быть выработано умение применять теоретические знания для решения конкретных задач.

8. Содержание и структура дисциплины.

Вид работы	Семестр	Всего
------------	---------	-------

	1	2	3	4	
Общая трудоёмкость, акад. часов	72				72
Аудиторная работа:	36				36
Лекции, акад. часов	18				18
Семинары, акад. часов	18				18
Лабораторные работы, акад. часов					
Самостоятельная работа, акад. часов	36				36
Вид промежуточной аттестации (зачёт, зачёт с оценкой, экзамен)	экз.				

N раздела, название раздела	N темы	Название темы	Структура и содержание дисциплины			Форма текущего контроля успеваемости	
			Содержание темы	Аудиторная нагрузка, отводимая на лекционный материал темы, ак.ч.	Названия семинаров по теме. Аудиторная нагрузка, отводимая на каждый семинар темы, ак.ч.		Самостоятельная работа: название темы самостоятельной работы; трудоемкость темы, ак.ч.
1. Содержание курса, предмет и методы изучения. Математические модели изучаемых акустических сред	1	Характеристика курса; учебно-научная литература. Основные сведения об изучаемых средах и явлениях.	<i>Основные принципы формирования научного направления и учебного курса «Физическая акустика». Краткая информация о многомнике «Физическая акустика» под ред. У. Мэзона. Содержание учебного курса. Основные сведения по реологии сред, которые будут объектом анализа в данном курсе.</i>	1 ак. ч.	<i>Вывод уравнений линейной акустики из системы уравнений гидродинамики</i> 1 ак.ч.	Повторение основных положений механики сплошных сред. Вывод и анализ уравнений гидродинамики. Проработка вопроса о соотношении гидродинамики и акустики жидких сред. 4 ак. ч.	ДЗ, ОП
	2	Акустика неидеальных жидких сред.	<i>Уравнение состояния для классических жидкостей (модельное уравнение Тэта). Уравнения акустики жидких неидеальных сред. Выражение коэффициента затухания. Экспериментальные данные и физические причины появления зависимости скорости звука (дисперсия) от частоты и изменения частотной зависимости коэффициента поглощения (сверхстоксово поглощение).</i>	2 ак. ч.	<i>Анализ спектральных эффектов и методов анализа жидкостей и газов (Мандельштам-Брюллюэновское рассеяние (МБР), дублет МБР, тонкая структура линии рэлеевского рассеяния, стоксова и антистоксова компоненты, триплет МБР).</i> 2 ак. ч.	Проработка лекционного материала. Решение задач с использованием уравнений линейной акустики неидеальных и неоднородных (стратифицированных) сред. 8 ак. ч.	ДЗ, КР
	3	Акустика сред с релаксацией	<i>Расширение моделей жидких и газообразных сред путем учета релаксационных свойств. Релаксация объемной вязкости (кнезеровские процессы, феноменологическая теория релаксации Мандельштама – Леонтовича) и сдвиговой вязкости. Акустика релаксирующих сред. Общий подход, соотношения Крамерса – Кронига.</i>	2 ак. ч.	<i>Анализ специфики релаксационных процессов в различных средах и отличительные особенности поглощения звука в сложноструктурных средах (биологические ткани, геосреды). Методы и возможности акустической спектроскопии.</i> 2 ак. ч.	Проработка лекционного материала. Решение задач относительно акустики сред с релаксацией. Вывод соотношения между законом частотной зависимости коэффициента затухания акустических волн в биотканях и геосредах и законом дисперсии. 8 ак. ч.	Об, ДЗ
	4	Акустогидродинамика разреженного газа	Модели акустики разреженного газа на основе кинетической теории (с использованием линейаризованного уравнения Больцмана) вывода уравнений гидродинамики.	1 ак. ч.	<i>Акустика разреженного газа</i> 1 ак. ч.	Повторение основ кинетической теории и основных сведений относительно уравнения Больцмана 4 ак. ч.	ДЗ, ОП
	5.	Акустика сверхтекучей жидкости	Акустика сверхтекучей жидкости.	1 ак. ч.	<i>«Второй звук» в сверхтекучей жидкости.</i> 1 ак. ч.	Повторение материала по модам в неидеальной жидкой среде. Изучение лекционного материала. 4 ак. ч.	Об, ДЗ

2. Основные эффекты и явления физической акустики	1.	Акустическая кавитация. Динамика одиночного пузырька	<i>Акустическая кавитация и ее применение. Основные модели (уравнения). Концентрация энергии. Влияние различных факторов (газопаровое наполнение, поверхностное натяжение, диссипация, диффузионный обмен с окружающей средой, сжимаемость окружающей среды). Критические значения физических параметров при кавитации..</i>	3 ак. ч.	Анализ и оценки параметров явлений, связанных с кавитацией (сонолюминисценция; возможности реализации «сонотермоада»). Роль кавитации в различных процессах и технологиях; кавитация в медицине, оболочечные микропузырьки. 3 ак. ч.	Проработка лекционного материала. Самостоятельное решение задач по теме «акустическая кавитация» 12 ак. ч.	Об, ДЗ, ОП
	2.	Акустические волны в пузырьковых средах	<i>Распространение акустических волн в пузырьковых средах, дисперсия.</i>	1 ак. ч.	<i>Нелинейные эффекты при распространении акустических волн в пузырьковых средах</i> 1 ак. ч.	Изучение лекционного материала. Самостоятельное решение задач 4 ак. ч.	ДЗ, КР
	3.	Взаимодействие акустических волн с жидкой средой	<i>Акустические течения и радиационное давление.</i>	2 ак. ч.	<i>Генерация сдвиговых деформаций в среде акустической волной, эластодиагностика и эластография в медицине</i> 2 ак. ч.	Изучение лекционного материала, самостоятельное решение задач 8 ак. ч.	Об, ДЗ
	4.	Акустика фазовых переходов и критических явлений	<i>Акустика фазовых переходов и критических явлений. Микроуровневый аспект физической акустики, основные типы квазичастиц и взаимодействий между ними. Упругие дебаевские волны; флуктуации как суперпозиция дебаевских волн; «тепловой» звук. Критические точки и линии критических точек.</i>	2 ак. ч.	<i>Скорость и поглощение ультразвука и гиперзвука в области критических точек. Измерение скорости ультразвука.</i> 2 ак. ч.	Самостоятельное повторение материала о фазовых переходах. Изучение материала лекции. 8 ак. ч.	Об, ДЗ
	5.	Термоакустические эффекты	<i>Термоакустические эффекты в жидких средах и их использование для регистрации высокоэнергетических частиц (протонов, нейтрино).</i>	1 ак. ч.	<i>Глобальные проекты по созданию систем термоакустич. регистрации нейтрино в открытом океане.</i> 1 ак. ч.	Самостоятельно подобрать сведения о глобальных проектах по регистрации нейтрино. Сделать сравнение 4 ак. ч.	Об, ДЗ, ОП
3. Системы (устройства) и методы	1.	Методы визуализации акустических полей	<i>Методы визуализации акустических полей. Классические методы визуализации (ширлен – метод, шадоуграфия, метод Топлера); использование для визуализации акустических полей (звуковых пучков).</i>	1 ак. ч.	<i>Новые методы визуализации акустических полей (томографические методы, визуализация с помощью акустических течений, виброметрия).</i> 1 ак. ч.	Изучение лекционного материала. 4 ак. ч.	Об, ДЗ, ОП
	2.	Параметрические антенны	<i>Физические принципы действия параметрической приемной и передающей антенны в жидкой среде. Особенности и использование этого эффекта в воздушных средах. Аудиопроекторный эффект</i>	1 ак. ч.	<i>Акустические излучатели и решетки излучателей для воздушной среды</i> 1 ак. ч.	Изучение лекционного материала. Решение задач по теме. 4 ак. ч.	Об, ДЗ

Предусмотрены следующие формы текущего контроля успеваемости.

1. Домашнее задание (ДЗ);
2. Контрольная работа (КР);
3. Обсуждение (Об).
4. Опрос (ОП)

9. Место дисциплины в структуре ООП ВПО

1. Обязательная дисциплина.
2. Вариативная часть, блок профессиональной подготовки, дисциплина магистерской программы.
3. Курс связан с рядом дисциплин, преподаваемых на физическом факультете. К началу изучения курса студент должен владеть знаниями общего курса физики, основами механики сплошных сред, теоретических основ акустики; знания по перечисленным учебным дисциплинам являются основой для изучения данного курса.
 - 3.1. Дисциплины, которые должны быть освоены для начала освоения данной дисциплины: общая физика, математическая физика, бакалаврский курс механики сплошных сред, введение в акустику, теоретические основы акустики.
 - 3.2. Дисциплины, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее: Научно-исследовательская практика, научно-исследовательская работа, курсовая работа, дисциплины «Физическое материаловедение», «Современные проблемы акустики».

10. Образовательные технологии

Отдельные разделы курса имеют иллюстративное сопровождение в виде компьютерных презентаций. Лекции читаются с использованием современного мультимедийного и проекционного оборудования.

11. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации

а) примеры домашних заданий по дисциплине «Физическая акустика (газообразных, жидких и вязкоупругих сред)»

получить (вывести) уравнение линейной акустики для стратифицированной по плотности идеальной жидкой среды;

зная (найдя) закон движения границы сферического пузырька, уметь вычислять поле скорости или давления в любой точке жидкости вокруг изменяющего свой радиус пузырька;

проанализировать возможные нелинейные эффекты при распространении акустической волны в жидкой среде с газовыми пузырьками;

подготовить обзорный материал (дать развернутые примеры) по использованию акустического радиационного напряжения (давления) и акустических течений в различных технических приложениях;

б) примеры тем для обсуждений по дисциплине «Механика сплошных сред»:

- каковы перспективы и объективные трудности в создании хотя бы демонстрационного макета «сазера» и реализации процесса «акусто-кавитационного (пузырькового) термомяда»;
- 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 «Механика сплошных сред»:

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» являются проверкой выполнения домашних заданий (см. раздел «а) примеры домашних заданий»).

д) Экзаменационные вопросы к зачету по дисциплине «Физическая акустика (газообразных, жидких и вязкоупругих сред) »:

1. Предмет и задачи «Физической Акустики». Основные разделы томов многотомника «Физическая акустика» под ред. У. Мэзона (краткий обзор его содержания).
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 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. Проблема создания сазера. Сонолюминесценция. Возможность реализации сонотермоада.
13. Распространение волн в среде с пузырьками. Дисперсионное уравнение.
14. Нелинейные эффекты при распространении волн в среде с пузырьками.

15. Гидродинамика и акустика сверхтекучих сред на примере He II.
16. Акустические течения. Подходы к аналитическому описанию акустических течений.
17. Различные приближения для «акустического источника» акустических течений.
18. Классификация и основные типы акустических течений. Акустический погранслои.
19. Радиационное давление акустических волн и радиационная сила. Основные принципы их вычисления.
20. Общие сведения об АКУСТООПТИКЕ, ОПТОАКУСТИКЕ, АКУСТОЭЛЕКТРОНИКЕ, ЭЛЕКТРОАКУСТИКЕ.

12. Учебно-методическое обеспечение дисциплины

12.1. При изучении курса основное внимание следует уделять физическим механизмам изучаемых явлений, анализу математических моделей, необходимо акцентировать внимание на взаимосвязи проблематики гидродинамики и акустики; необходимо формировать у учащихся знание (в некоторых случаях - представление) о типичных числовых значениях основных параметров и характеристик, развивать способность к оценке и прогнозу развития данного научного направления.

12.2. Литература

а) Основные учебные пособия, обеспечивающие курс

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.

б) Основные учебно-методические работы, обеспечивающие курс:

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.

в) Основные научные статьи, обеспечивающие курс:

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.

г) Ресурсы в интернете:

<http://www.physicalacoustics.org> - интернет-страница Технического комитета Американского Акустического Общества по ФИЗИЧЕСКОЙ АКУСТИКЕ.

13. Материально-техническое обеспечение

13.1. Помещения - учебная аудитория. Лекционные и семинарские занятия по дисциплине проводятся в соответствии с требованиями к материально-техническим условиям реализации ООП (п.5.3. образовательного стандарта МГУ по направлению подготовки «Физика»). Аудиторный фонд для проведения учебных занятий включает достаточное количество аудиторий для проведения лекций и семинарских занятий с количеством посадочных мест не менее 15 в каждой аудитории.

13.2. Оборудование – доска, фломастеры или мел; некоторые лекции сопровождаются иллюстративным материалом (либо фотоматериалы, либо демонстрация слайдов – компьютерных презентаций).

Специализированные компетенции профильной направленности обучения (специализированные компетенции магистерской программы)	
--	--

М-СПК-7	Способность профессионально владеть знаниями о многих основополагающих физических явлениях и процессах, связанных с прохождением акустических волн через различные по своей природе и свойствам среды, способность к анализу и решению большого круга важнейших проблем и задач в разных областях науки и техники по акустической диагностике сред и активному акустическому воздействию на них. Это определяет и практическую значимость полученных знаний. Курс обеспечивает магистров необходимой научной ориентацией и способностью научного прогноза в новейших проблемах физики, где акустика играет определяющую роль (например, проблема сонотермо-яда, создание сазера («сонолазера»), акустические методы фиксации нейтрино и др.), а также умением профессионально представлять результаты в виде научных публикаций и докладов.
---------	---