

Рабочая программа дисциплины

1. Название дисциплины: Интенсивный звук и ударные волны.

2. Лекторы:

2.1. К.ф.-м.н., доцент Андреев Валерий Георгиевич, кафедра акустики, andreev@acs366.phys.msu.ru, тел. +7-495-939- 29-52.

2.2. Д.ф.-м.н., профессор Сапожников Олег Анатольевич, кафедра акустики, oleg@acs366.phys.msu.ru, тел. +7-495-939- 29-52.

3. Аннотация дисциплины

Курс направлен на систематическое изложение закономерностей генерации мощных акустических и ударных волн. В курсе рассматриваются все основные источники мощного звука (пьезоэлектрические, магнитострикционные, газодинамические, электрогидравлические), применяемые как в промышленности, так и в научных исследованиях. Излагаются основы генерации звука при взрывах и разрядах молнии, при движении источника со сверхзвуковой скоростью, физические и биологические эффекты, сопровождаемые прохождением следа волны звукового удара по поверхности Земли. Рассматривается генерация мощных сейсмических волн при подземных взрывах и принципы акустического мониторинга испытаний ядерного оружия. Даются представления о генерации мощных акустических импульсов лазерным излучением.

4. Цели освоения дисциплины

Основной целью данного курса является ознакомление слушателей с различными источниками мощного звука, механизмами его генерации и предельными параметрами, достижимыми в современных условиях. Ознакомление с основами расчета процессов генерации акустических и ударных волн, закономерностями их распространения в материалах и природных средах, особенностями взаимодействия мощных волн с веществом и их воздействия на человека и окружающую среду.

5. Задачи дисциплины

Задачами курса являются: (1) систематическое изложение физических основ и механизмов генерации мощных акустических волн, а также особенностей их распространения в природных средах; (2) изложение современного состояния научных исследований в этой области; (3) знакомство с принципами работы конкретных устройств для генерации мощных акустических волн и их предельно достижимыми параметрами.

6. Компетенции

6.1. Компетенции, необходимые для освоения дисциплины

М-ОНК-2; М-ИК-2.

Предполагается, что слушатели владеют базовыми методами математической физики, знают основы гидродинамики и акустики.

6.2. Компетенции, формируемые в результате освоения дисциплины

М-ИК-3; М-ПК-1; М-ПК-2; М-ПК-3; М-ПК-4, М-ПК-5; М-ПК-6; М-СПК-15

7. Требования к результатам освоения содержания дисциплины

В результате освоения дисциплины студент должен знать закономерности генерации мощных акустических волн, а также особенности их распространения в природных средах, знать современный уровень развития генераторов акустических волн, уметь оценивать уровни излучаемой мощности и уровней звукового давления, создаваемых как генераторами звука, так и взрывными источниками и разрядами молний.

8. Содержание и структура дисциплины

Вид работы	Семестр			Всего
	2			
Общая трудоёмкость, акад. часов	72			72
Аудиторная работа:				
Лекции, акад. часов	17			17
Семинары, акад. часов	17			17
Лабораторные работы, акад. часов				
Самостоятельная работа, акад. часов	38			38
Вид итогового контроля (зачёт, зачёт с оценкой, экзамен)		экза- за- мен		

№ раз-дела	Название темы	Структура и содержание дисциплины			Форма текущего контроля	
		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	Основные виды источников мощного звука. Пьезоэлектрические и магнитострикционные излучатели.	<p>Основные виды источников мощного звука в технике и природе, механизмы преобразования энергии в звук. Характеристики источников звука: частотный спектр излучения, форма волны, интенсивность, уровень давления, диаграмма направленности, КПД.</p> <p>Пьезоэлектрические материалы. Основные характеристики пьезоэлектриков. Коэффициент электромеханической связи. Сопротивление излучения.</p> <p>Предельные давления, создаваемые современными пьезоизлучателями.</p> <p>Магнитострикционный эффект и магнитострикционные материалы. Магнитострикционные источники: принцип действия и основные разновидности. Преимущества и недостатки по сравнению с пьезоэлектрическими источниками. Предельная механическая мощность.</p> <p>Применение концентраторов для повышения амплитуды волны. Виды концентраторов и схема их расчетов. Применение магнитострикционных преобразователей в технике и медицине.</p>	5 ак.ч.	<p>Теория электромеханического преобразователя. Оптимизация преобразования электрической энергии в акустическую в пьезоэлектрическом преобразователе. 1 ак.ч.</p> <p>Использование пьезокомпозитных и пьезополимерных материалов для улучшения характеристик источников и приемников ультразвука. 1 ак.ч.</p> <p>Магнитострикционные источники. Эквивалентная схема магнитострикционного излучателя. 2 ак.ч.</p> <p>Расчет резонансной частоты и добротности излучателя. Расчет конического и экспоненциального концентраторов для частот 18 и 22 кГц. 1 ак.ч.</p>	<p>Основные виды источников мощного звука. 2 ак.ч.</p> <p>Получение уравнения для связи электрической напряженности поля в пьезокерамике с механической деформацией. Написать уравнение электроакустического преобразователя. 2 ак.ч.</p> <p>Эквивалентная схема пьезоэлектрического излучателя. Расчет резонансной частоты и добротности излучателя. 3 ак.ч.</p> <p>Получение уравнения для связи магнитной напряженности поля в пьезокерамике с механической деформацией. 3 ак.ч.</p>	ДЗ, Об. КР
2	Оптоакустические и электрогидравлические источники мощных акустических импульсов	<p>Оптоакустические источники. Основные механизмы генерации звука оптическим излучением. Метод передаточных функций для описания теплового механизма преобразования «свет-звук». Лазерная генерация коротких акустических видеоимпульсов. Предельные давления, создаваемые оптоакустическими источниками. КПД преобразователя.</p> <p>Электроразрядные источники мощных импульсов. Физические процессы, происходящие при электрическом разряде в жидкости.</p>	5 ак.ч.	<p>Оптоакустический механизм генерации звука. Генерация мощных импульсов. Расчет профиля импульса и пикового давления. 2 ак.ч.</p> <p>Электроразрядные и электромагнитные источники мощных акустических импульсов. Физические процессы, происходящие при электрическом разряде в жидкости. Расчет про-</p>	<p>Оптоакустические источники: тепловой и пробойный механизмы генерации акустических импульсов. Расчет формы импульсов при жесткой и импедансной границе. 3 ак.ч.</p> <p>Электроразрядные источники мощных импульсов. Расчет акустического рефлектора при фокусировке импульса из воды в биологическую ткань. 3 ак.ч.</p>	ДЗ,

		<p>Использование эллиптических рефлекторов для фокусировки акустических импульсов. Форма акустического импульса и его характерные параметры. Предельные давления. Использование электроразрядных источников в современной литотрипсии для разрушения почечных камней. Основные закономерности генерации акустических волн (грома) при ударе молнии.</p> <p>Физические принципы работы электромагнитных источников мощных импульсов. Конструкции излучателей с линзами и рефлекторами. Выбор материалов для источников. Форма акустического импульса и его характерные параметры. Предельные давления. Использование электромагнитных источников в современной литотрипсии для разрушения почечных камней.</p> <p>Основные закономерности генерации акустических волн (грома) при ударе молнии. Молния как распределенный источник акустических волн. Частота и длительность грома. Диаграмма направленности при различных атмосферных условиях.</p>		<p>Физика импульса и пикового давления. 2 ак.ч.</p> <p>Молния как распределенный источник акустических волн. Расчет длительности грома и уровней давления в различных атмосферных условиях. 1 ак.ч.</p>	<p>Электромагнитные источники мощных акустических импульсов. Расчет акустической линзы с заданным фокусным расстоянием в жидкостях. 2 ак.ч.</p> <p>Генерация акустических волн (грома) при ударе молнии. Расчет длительности грома при заданных траекториях электрического разряда (молнии) 2 ак.ч.</p>	<p><i>Об.</i></p> <p><i>К.</i></p>
3	Сверхзвуковые источники и генерация волны звукового удара.	<p>Генерация акустических волн большой амплитуды сверхзвуковыми источниками. Волна звукового удара: ее параметры и особенности нелинейного распространения в атмосфере. Возбуждение звука движущимся объемным источником. Волновой резонанс.</p> <p>Генерация звука сверхзвуковой струей. Газоструйные и гидродинамические излучатели: свистки, генератор Гартмана, сирены.</p>	3 ак.ч.	<p>Генерация волны звукового удара в воздухе. Распространение ударной волны в воздухе. 2 ак.ч.</p> <p>Частотный диапазон газоструйных генераторов и максимальные интенсивности звука. Зависимости акустической мощности от параметров струи. 1 ак.ч.</p>	<p>Волна звукового удара в атмосфере. Расчет временного профиля ударной волны при прохождении самолетом звукового барьера. 2 ак.ч.</p> <p>Физические и биологические эффекты, сопровождаемые прохождением следа волны звукового удара по поверхности Земли. 2 ак.ч.</p> <p>Газоструйные и гидродинамические излучатели. Расчет генератора Гартмана. 2 ак.ч.</p>	<p><i>ДЗ,</i></p> <p><i>Об.</i></p> <p><i>К.</i></p>
4	Взрывные источники	<p>Взрывные источники. Основные сведения о взрывчатых веществах. Ударная адиабата. Детонационная волна. Параметры ударной волны, возникающей при взрыве.</p> <p>Сильный взрыв (модель взрыва атомной бомбы). Автомодельное решение распространения волны сильного взрыва. Генерация мощных сейсмических волн при подземных взрывах.</p>	2 ак.ч.	<p>Физика взрыва. Особенности генерации ударных волн при умеренном и сильном (атомном) взрывах. Взрывы в атмосфере и под землей. 2 ак.ч.</p>	<p>Взрывные источники ударных волн. Распространение в атмосфере. 3 ак.ч.</p> <p>Генерация мощных сейсмических волн при подземных взрывах. Мониторинг испытаний ядерного оружия. 3 ак.ч.</p>	<p><i>ДЗ,</i></p> <p><i>Об.</i></p> <p><i>К.</i></p>

5	Фокусировка как способ получения высокоинтенсивного акустического излучения.	<p>Фокусировка как способ получения высокоинтенсивного акустического излучения.</p> <p>Нелинейные эффекты при фокусировке акустических пучков. Нелинейная рефракция и нелинейное насыщение. Самофокусировка и самодефокусировка. Сдвиг фокуса и уширение фокальной перетяжки. Эффект нелинейного насыщения. Предельные возможности усиления амплитуды волны при фокусировке.</p>	2 ак.ч.	<p>Акустические линзы и зеркала. Фокусировка линейных волновых пучков. 1 ак.ч.</p> <p>Компрессия волн как фокусировка во времени. Усиление волн при временной компрессии. Метод обращения времени и волнового фронта при фокусировке волн в неоднородной среде. "Ультразвуковая базаука".1 ак.ч.</p>	<p>Структура фокальной области для фокусирующих источников с гауссовским и равномерным распределением поля на излучающей поверхности. 3 ак.ч.</p> <p>Принципы построения систем для фокусировки через неоднородные слои. Примеры практического использования в неразрушающем контроле и медицине. 3 ак.ч.</p>	<p><i>ДЗ,</i></p> <p><i>Об.</i></p> <p><i>КР.</i></p>

Предусмотрены следующие формы текущего контроля успеваемости:

1. Расчетно-графическое задание (РГЗ);
2. Домашнее задание (ДЗ);
3. Коллоквиум (К);
4. Контрольная работа (КР);
5. Опрос (Оп);
6. Обсуждение (Об).

9. Место дисциплины в структуре ООП ВПО

1. Дисциплина является обязательной.
2. Вариативная часть, профессиональный блок, дисциплина магистерской программы.
3. Изложение опирается на знания, полученные студентами ранее в общефакультетских курсах по математической физике и курсах программы бакалавриата кафедры акустики, в частности «Механика сплошных сред», «Введение в акустику», «Теория волн» и «Теоретические основы акустики».
 - 3.1. Дисциплины, которые должны быть освоены для начала освоения данной дисциплины:
Математический анализ, общие курсы физики
 - 3.2. Дисциплины, для которых освоение данной дисциплины необходимо как предшествующее:
Научно-исследовательская практика, научно-исследовательская работа.

10. Образовательные технологии

Изложение в основном ведётся традиционным способом (с использованием мела и доски). Отдельные закономерности излучения мощного звука и распространения ударных волн иллюстрируются с использованием компьютерного проектора. Кроме того, проводится экспериментальная демонстрация работы мощных ультразвуковых источников. Во время проведения коллоквиума проводится общая дискуссия по теме курса.

11. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации

Примерный список вопросов для проведения текущей аттестации и на экзамене:

1. Основные виды источников мощного звука в технике и природе, механизмы преобразования энергии в звук.
2. Уравнения для связи электрической напряженности поля в пьезокерамике с механической деформацией.
3. Эквивалентная схема пьезоэлектрического излучателя. Резонансная частота и добротность излучателя.
4. Коэффициент электромеханической связи. Сопротивление излучения.
5. Предельные давления, создаваемые современными пьезоизлучателями.
6. Принцип действия магнитострикционных излучателей. Их основные разновидности.
7. Эквивалентная схема магнитострикционного излучателя. Резонансная частота и добротность излучателя.
8. Виды концентраторов излучения. Формулы усиления по амплитуде для концентраторов.
9. Оптоакустическая генерация генерации звука. Генерация мощных импульсов.
10. Вид профиля импульса для случая жесткой и мягкой границы
11. Тепловой и пробойный механизмы генерации акустических импульсов.
12. КПД оптоакустического преобразователя.
13. Электроразрядные источники мощных импульсов. Физические процессы, происходящие при электрическом разряде в жидкости.
14. Принцип действия и схема эллиптических рефлекторов для фокусировки акустических импульсов.
15. Форма акустического импульса и его характерные параметры. Предельные давления.
16. Использование электроразрядных источников в современной литотрипсии для разрушения почечных камней.
17. Сформулировать основные закономерности генерации акустических волн (грома) при ударе молнии.
18. Механизм генерации акустических волн большой амплитуды сверхзвуковыми источниками.

19. Волна звукового удара: ее параметры и особенности нелинейного распространения в атмосфере.
20. Возбуждение звука движущимся объемным источником. Волновой резонанс.
21. Генерация звука сверхзвуковой струей. Газоструйные и гидродинамические излучатели: свистки.
22. Генератор Гартмана, сирены.
23. Взрывные источники. Виды взрывчатых веществах и их свойства.
24. Ударная адиабата. Детонационная волна.
25. Параметры ударной волны, возникающей при взрыве.
26. Сильный взрыв (модель взрыва атомной бомбы). Автомодельное решение распространения волны сильного взрыва.
27. Генерация мощных сейсмических волн при подземных взрывах.
28. Акустические линзы и рефлекторы.
29. Нелинейные эффекты при фокусировке акустических пучков. Нелинейная рефракция и нелинейное насыщение.
30. Самофокусировка и самодефокусировка интенсивных волн. Сдвиг фокуса и уширение фокальной перетяжки.
31. Эффект нелинейного насыщения. Предельные возможности усиления амплитуды волны при фокусировке.

12. Учебно-методическое обеспечение дисциплины

Основная литература:

1. Римский-Корсаков А.В. Электроакустика. – М.: Связь, 1973.
2. Кайно Г. Акустические волны. – М.: Мир, 1990.
3. Виноградова М.Б., Руденко О.В., Сухоруков А.П. Теория волн. – М.: Наука, 1979.
4. Красильников В.А., Крылов В.В. Введение в физическую акустику. – М.: Наука, 1984.
5. Ультразвук. Маленькая энциклопедия. – М.: Сов. Энциклопедия, 1980.
6. Физическая акустика (под ред. У. Мэзона). – М.: Мир, 1966-1978.
7. Бергман Л. Ультразвук. – М.: ИЛ, 1956.
8. Глозман И.А. Пьезокерамика. – М.: Энергия, 1972.
9. Источники мощного ультразвука (под ред. Л.Д. Розенберга). - М.: Наука, 1967.
10. Наугольных К.А., Рой Н.А. Электрические разряды в воде. – М.: Наука, 1971.
11. Коул. Подводные взрывы. – М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1950.
12. Селиванов В.В., Соловьев В.С., Сысоев Н.Н. Ударные и детонационные волны. Методы исследования. – М.: МГУ, 1990.
13. Канель Г.И., Разоренов С.В., Уткин А.В., Фортов В.Е. Ударно-волновые явления в конденсированных средах. – М.: Янус-К, 1996.
14. Гусев В.Э., Карабутов А.А. Лазерная оптоакустика. - М.: Наука, 1991.
15. Зарембо Л.К., Красильников В.А. Введение в нелинейную акустику. – М.: Наука, 1966.
16. А.Фью. Гром. УФН, т.119, вып.4, 1976, с. 735-748
17. Каневский И.Н. Фокусирование звуковых и ультразвуковых волн. - М.: Наука, 1977.

Дополнительная литература:

1. Жаров В.П., Летохов В.С. Лазерная оптоакустическая спектроскопия. - М.: Наука, 1984.
2. Лямшев Л.М. Применение лазеров в акустике. – ЦНИИ «РУМБ», 1986.
3. Канель Г.И., Разоренов С.В., Уткин А.В., Фортов В.Е. Ударно-волновые явления в конденсированных средах. – М.: Янус-К, 1996.

Периодическая литература:

1. Бэйли М.Р., Хохлова В.А., Сапожников О.А., Каргл С.Г., Крам Л.А. Физические механизмы воздействия терапевтического ультразвука на биологическую ткань (обзор). – Акуст.ж., 2003, т.49, №4, с.437-464.
2. D. Cathignol. High intensity piezoelectric sources for medical applications: Technical aspects. – Nonlinear Acoustics at the Beginning of the 21st Century, ed. by O.V.Rudenko and O.A. Sapozhnikov (Faculty of Physics, MSU, Moscow, 2002), vol.1, pp.371-378.
3. Бункин Ф.В., Комиссаров В.М. Акустический журнал, 1973, т.19, №3, с.305.

Интернет-ресурсы: <http://acoustics.phys.msu.ru>

13. Материально-техническое обеспечение

В соответствии с требованиями 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 12 в каждой аудитории.

Специализированные компетенции профильной направленности обучения (специализированные компетенции магистерской программы)	
М-СПК-15	Способность понимать закономерности генерации мощных акустических волн, а также особенности их распространения в природных средах, знать современный уровень развития генераторов акустических волн, уметь оценивать уровни излучаемой мощности и уровни звукового давления, создаваемые как генераторами звука, так и взрывными источниками и разрядами молний. Полученные знания послужат базисом для решения научно-инновационных задач в области создания, эксплуатации и использования мощных источников звука. Способность организовывать и планировать собственные исследования в области акустики больших интенсивностей, решать их с помощью теоретических и экспериментальных методов с использованием современного оборудования. Формирование навыков для оформления результатов исследований в виде научных отчётов, обзоров, докладов и статей.