

Рабочая программа дисциплины

1. Название дисциплины: Обратные волновые задачи акустики

2. Лекторы.

2.1. к.ф.-м.н., доцент Румянцева Ольга Дмитриевна, кафедра акустики,
burov@phys.msu.ru, тел. 939-30-81.

3. Аннотация дисциплины.

Цель спецкурса состоит в систематическом изложении обратных волновых задач излучения и рассеяния в приложении к акустическим проблемам. Рассматриваются как основные вопросы единственности и устойчивости решения в зависимости от характеристик исследуемого процесса (объем исходных данных, характеристики излучающих и рассеивающих возмущений), так и прикладные вопросы – решение задач медицинской акустической томографии, дефектоскопии, диагностики тепловых излучений живой ткани.

4. Цели освоения дисциплины.

В результате освоения дисциплины обучающийся приобретает умение использовать методы решения обратных задач как для теоретического анализа томографических проблем, так и для их практического воплощения в виде конкретных диагностических устройств.

5. Задачи дисциплины.

Задачами курса являются: (1) систематическое изложение теоретических предпосылок, лежащих в основе методов решения волновых обратных задач акустики; (2) ознакомление с современными методами решения обратных задач акустики; (3) знакомство с конкретными прикладными обратными задачами, возникающими в медицине и дефектоскопии, примерами из практической деятельности.

6. Компетенции.

6.1. Компетенции, необходимые для освоения дисциплины.

М-ОНК-2; М-ИК-2; М-ПК-8;

6.2. Компетенции, формируемые в результате освоения дисциплины.

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

7. Требования к результатам освоения содержания дисциплины

В результате освоения дисциплины студент должен знать основы методов решения обратных волновых задач акустики; уметь применять полученные знания к решению задач акустики; владеть методами решения прикладных прямых и обратных задач акустики.

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	36				36
Семинары, акад. часов					
Лабораторные работы, акад. часов					
Самостоятельная работа, акад. часов	36				36
Вид промежуточной аттестации (зачёт, зачёт с оценкой, экзамен)	Экз.				

№ раздела, название раздела	№ 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. Введение. Функция Грина. Обратные задачи излучения.	1	ВВЕДЕНИЕ.	<i>Постановка обратных волновых задач и некорректность их решения. Голография, рентгеновская томография (теорема о сечениях), ЯМР-томография, локатор с синтезированной апертурой.</i>	1 ак.ч.	1. Методы томографии и области их практического применения. 1 ак.ч.	Теорема о сечениях, ЯМР-томография. 2 ак.ч.	Об ДЗ
	2	ФУНКЦИЯ ГРИНА	<i>Функция Грина для уравнения Гельмгольца. Пространственный спектр функции Грина однородной безграничной среды; поведение его действительной и мнимой частей.</i>	1 ак.ч.	Физический смысл и назначение функции Грина для уравнения Гельмгольца. 1 ак.ч.	Сопоставление поведения действительной и мнимой частей пространственного спектра функции Грина. 3 ак.ч.	
	3	ОБРАТНЫЕ ЗАДАЧИ ИЗЛУЧЕНИЯ	<i>Некорректность и неединственность решения обратных задач излучения. Неизлучающие источники и их пространственный спектр. Примеры источников и обсуждение возможности их восстановления. Роль априорной информации. Метод обращения волнового фронта. Метод максимального правдоподобия для решения избыточной системы и решение с минимальной нормой для недостаточной системы.</i>	2 ак.ч.	Суть метода обращения волнового фронта. 2 ак.ч.	Отличие метода максимального правдоподобия и метода решения с минимальной нормой. 4 ак.ч.	Об ДЗ, КР
2. Обратные задачи рассеяния. Решение прямой задачи.	1.	ОБРАТНЫЕ ЗАДАЧИ РАССЕЯНИЯ НА АКУСТИЧЕСКИХ НЕОДНОРОДНОСТЯХ	<i>Постановка обратной задачи рассеяния на неоднородностях фазовой скорости звука. Соотношение размерности экспериментальных данных и размерности неизвестных: достаточность и избыточность данных рассеяния в 2-мерном и 3-мерном случаях. Уравнение Липпмана-Швингера в координатном Γ-пространстве и \mathbf{K}-пространстве; экспериментальные данные.</i>	2 ак.ч.	Отличие обратной задачи излучения и обратной задачи рассеяния 2 ак.ч.	Роль достаточности и избыточности данных рассеяния при решении обратных задач рассеяния. 5 ак.ч.	Об, ДЗ
	2.	РЕШЕНИЕ ПРЯМОЙ ЗАДАЧИ РАССЕЯНИЯ	<i>Решение в виде ряда Борна-Неймана; условие сходимости ряда. Решение через обращение операторов; альтернативные формы записи решения.</i>	2 ак.ч.	Альтернативные формы решения прямой задачи рассеяния 2 ак.ч.	Область применимости решения прямой задачи в виде ряда Борна-Неймана и с помощью обращения операторов. 5 ак.ч.	Об, ДЗ

3. Учет перерасеяний. Итерационные алгоритмы. Вопросы дискретизации. Влияние объема данных на единственность и устойчивость решения.	3.	ПРИБЛИЖЕНИЕ БОРНА (приближение однократного рассеяния)	<i>Принцип восстановления пространственного спектра борновского рассеивателя при облучении и приеме с разных направлений. Связь доступных значений пространственных частот спектра и размеров восстанавливаемых деталей рассеивателя. Проблема интерполяции при восстановлении функции рассеивателя на основе найденного пространственного спектра. Область применимости борновского приближения. Практические схемы акустической томографии.</i>	2 ак. ч.	Роль многостороннего облучения и приема для восстановления акустических характеристик рассеивателя. 2 ак. ч.	Отличия, возможности и ограничения томографических систем, основанных на приближении однократного рассеяния. 5 ак. ч.	Об, ДЗ, КР
	1.	УЧЕТ МНОГОКРАТНЫХ РАССЕЯНИЙ. ИТЕРАЦИОННЫЕ АЛГОРИТМЫ	<i>Итерационные алгоритмы решения обратной задачи рассеяния на основе уравнений Липпмана-Швингера; область сходимости алгоритмов. Простые итерационные схемы решения для рассеивателей средней силы: двухшаговая схема; одношаговая схема. Схемы решения для сильных рассеивателей: итерационно-градиентные схемы без взвешивания поправок и со взвешиванием поправок; метод постепенного включения перерасеяний.</i>	2 ак. ч.	Двухшаговые и одношаговые итерационные схемы и их модификация в случае сильных рассеивателей. 2 ак. ч.	Способы обеспечения сходимости итерационных схем; физический смысл таких способов. 5 ак. ч.	Об, ДЗ, К
	2.	ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ДИСКРЕТИЗАЦИИ. РАСШИРЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО СПЕКТРА ВТОРИЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ	<i>Теорема отсчетов Котельникова-Шеннона. Сопряженная теорема отсчетов. Теорема Слепяна. Дискретизация задачи в \mathbf{r} - и \mathbf{K} -пространствах в соответствии с характерными параметрами рассеивателя, внутренних полей, вторичных источников. Расширение пространственного спектра вторичных источников при учете процессов перерасеяния.</i>	2 ак. ч.	Применение теоремы отсчетов для дискретизации неизвестных функций и полей при решении обратной задачи. 2 ак. ч.	Причины и последствия расширения пространственного спектра вторичных источников. 4 ак. ч.	Об, ДЗ

3	КОНЕЧНОМЕРНАЯ ДИСКРЕТИЗАЦИЯ В ОБРАТНОЙ ЗАДАЧЕ РАССЕЯНИЯ. ВЛИЯНИЯ ОБЪЕМА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ НА ЕДИНСТВЕННОСТЬ И УСТОЙЧИВОСТЬ РЕШЕНИЯ.	<i>Выбор базисных функций. Схемы решения дискретизованной задачи в случае слабого рассеивателя и при учете процессов перерасеяния. Взаимосвязанный характер проблемы решения обратной задачи рассеяния томографического типа, с точки зрения влияния объема экспериментальных данных на единственность и устойчивость решения. Причина возможной неединственности восстановления рассеивателей в дискретизованной задаче. Условия единственности и устойчивости решения. Неединственность решения безызыточной задачи. Роль избыточности данных для обеспечения единственности; аномальные ошибки. Ограничения на ширину пространственного спектра вторичных источников при восстановлении пространственно-распределенных двумерных и трехмерных рассеивателей.</i>	3 ак. ч.	Влияние объема экспериментальных данных на единственность и устойчивость решения в случае рассеивателей, состоящих из совокупности точечных рассеивателей, и в случае пространственно-распределенных рассеивателей 3 ак. ч.	Поведение невязки по экспериментальным данным в случае безызыточного и избыточного объема данных. 5 ак. ч.	<i>Об, ДЗ, КР</i>
---	---	---	----------	--	--	-----------------------

Предусмотрены следующие формы текущего контроля успеваемости.

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

9. Место дисциплины в структуре ООП ВПО

1. Дисциплина по выбору.
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 общей физики, механики сплошных сред, методов математической физики, квантовой механики, теоретических основ акустики, с которыми курс методически связан.
 - 3.1. Дисциплины, которые должны быть освоены для начала освоения данной дисциплины: общая физика, методы математической физики, механика сплошных сред, квантовая механика, введение в акустику, теоретические основы акустики.
 - 3.2. Дисциплины, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее: «Акустика океана. Статистическая гидроакустика», «Современные методы обработки сигналов и полей».

10. Образовательные технологии

Изложение в основном ведётся традиционным способом (с использованием фломастеров, мела и доски); используются, кроме того, иллюстративные материалы, являющиеся результатами решения модельных и прикладных обратных задач. Во время проведения коллоквиума проводится общая дискуссия по темам соответствующих разделов курса.

11. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации

Примерный список вопросов для проведения текущей и промежуточной аттестации:

В чем заключается некорректность обратных волновых задач.

Роль функции Грина и особенности поведения ее пространственного спектра.

Окружность (сфера) Эвальда.

Неединственность решения обратных задач излучения; неизлучающие источники и их пространственный спектр.

Роль априорной информации для обеспечения решения обратной задачи излучения.

Метод обращения волнового фронта.

Отличие обратной задачи рассеяния от обратной задачи излучения.

Соотношение размерности экспериментальных данных и размерности неизвестных: достаточность и избыточность данных рассеяния в 2-мерном и 3-мерном случаях.

Условие сходимости ряда Борна-Неймана.

Принцип восстановления пространственного спектра борновского рассеивателя при облучении и приеме с разных направлений.

Практические схемы акустической томографии.

Итерационные алгоритмы решения обратной задачи рассеяния на основе уравнений Липпмана-Швингера; область сходимости алгоритмов.

Особенности дискретизации обратной задачи в \mathbf{r} - и \mathbf{K} -пространствах в соответствии с характерными параметрами рассеивателя, внутренних полей, вторичных источников.

Расширение пространственного спектра вторичных источников при учете процессов перерассеяния.

Влияние объема экспериментальных данных на единственность и устойчивость решения обратной задачи рассеяния томографического типа.

Условия единственности и устойчивости решения.

Аномальные ошибки.

Ограничения на ширину пространственного спектра вторичных источников при восстановлении пространственно-распределенных двумерных и трехмерных рассеивателей.

Примерный список заданий для проведения текущей и промежуточной аттестации:

Описать принципы восстановления характеристик объектов в голографии, рентгеновской томографии, ЯМР-томографии.

Нарисовать поведение действительной и мнимой частей пространственного спектра функции Грина в окрестности поверхности Эвальда.

Сравнить общую постановку задач, в которых применяется метод максимального правдоподобия, и задач, в которых применяется решение с минимальной нормой этого решения.

Исходя из уравнения Гельмгольца для неоднородной среды, вывести уравнение Липпмана-Швингера в координатном \mathbf{r} -пространстве и \mathbf{K} -пространстве.

Получить решение прямой задачи в виде ряда Борна-Неймана и через обращение операторов. Оценить правомерность применимости борновского приближения для задач томографии мягких биотканей и томографии океана.

Пояснить физический смысл и сравнить между собой простые итерационные схемы, итерационно-градиентные схемы без взвешивания поправок и со взвешенными поправками, а также метод постепенного включения перерассеяний.

Изобразить схемы решения дискретизованной задачи в случае слабого рассеивателя и при учете процессов перерассеяния.

Нарисовать графики невязок, поясняющие проблему неединственности решения безызыточной задачи и роль избыточности данных.

12. Учебно-методическое обеспечение дисциплины

12.1. При изучении курса основное внимание следует уделять физическим механизмам изучаемых явлений, их связи с другими акустическими явлениями и процессами в океане, ти-

пичным значениям основных величин, характеризующих процесс или явление, вопросам практического значения изучаемых явлений в медицине и дефектоскопии.

12.2. Литература

Основная литература

1. Физика визуализации изображений в медицине. Под ред. С.Уэбба. М.: Мир, 1991. Т.1, 2.
2. Наттерер Ф. Математические аспекты компьютерной томографии // М.: Мир, 1990.
3. Горюнов А.А., Сасковец А.В. Обратные задачи рассеяния в акустике. М.: Изд-во МГУ, 1989. С.152.
4. Крылов В.В. Основы теории излучения и рассеяния звука. М.: Изд-во МГУ, 1989. 118с.
5. Буров В.А., Румянцева О.Д., Сасковец А.В. Акустическая томография и дефектоскопия как обратные задачи рассеяния // Вестник МГУ. Сер.3, Физика. Астрономия. 1994, т.35, N 6, с. 61-71.
6. Буров В.А., Румянцева О.Д. Единственность и устойчивость решения обратной задачи акустического рассеяния // Акуст. журн. 2003. Т. 49. №5. С.590-603.
8. Scattering. Scattering and inverse scattering in pure and applied science. Eds. Pike R., Sabatier P. C. San Diego, San Francisco, New York, Boston, London, Sydney, Tokyo: Academic Press, 2002. 1831 p.
9. Burov V.A., Zotov D.I., Karavay M.F., Romyantseva O.D. Ultrasound tomography of soft biological tissues containing strong inhomogeneities // Physics of Wave Phenomena. 2013. V. 21. N 1. P. 74–80.

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 12 в каждой аудитории.

13.2. Оборудование – доска, фломастеры или мел.

13.3. Иные материалы. Томограммы пространственных распределений скорости звука и коэффициента поглощения (имеются на кафедре акустики).

Специализированные компетенции профильной направленности обучения (специализированные компетенции магистерской программы)	
М-СПК-3	Профессиональное владение методами решения обратных волновых акустических задач рассеяния и излучения, имеющих теоретическое научно-исследовательское и практическое научно-инновационное значение; способность организовывать и проводить томографический эксперимент по восстановлению акустических характеристик неживых объектов и биологических тканей, определять актуальность и направление развития научных задач в области акустической томографии, оценивать возможность и проблемы их решения современными методами математической физики с привлечением специальной диагностической аппаратуры и информационных технологий, а также оформлять получаемые результаты в виде различных типов публикаций и отчетов.

