

## Рабочая программа дисциплины (модуля)

### 1. Код и наименование дисциплины (модуля).

Прикладные вопросы акустической томографии

### 2. Уровень высшего образования – подготовка научно-педагогических кадров в аспирантуре.

### 3. Направление подготовки:

03.06.01 – Физика и астрономия

### Направленность программы:

01.04.06 (1.3.7) – Акустика

### 4. Место дисциплины (модуля) в структуре ООП.

Вариативная часть ООП. Электив.

### 5. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников).

<b>Формируемые компетенции (код компетенции)</b>	<b>Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)</b>
<b>УК-1</b> Способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях.	<b>З1 (УК-1)</b> <b>ЗНАТЬ</b> основные современные научные достижения в профессиональной области, основные методы критического анализа и оценки современных научных достижений, а также методы генерирования новых идей при решении исследовательских задач, в том числе и в междисциплинарных областях.  <b>У1 (УК-1)</b> <b>УМЕТЬ</b> проводить анализ литературных данных в рамках поставленной исследовательской (практической, образовательной) задачи, выявлять основные вопросы и проблемы, существующие в современной науке.

	<p><b>В1 (УК-1)</b>  <b>ВЛАДЕТЬ</b>  навыками критического анализа и оценки современных научных достижений и результатов деятельности по решению исследовательских, практических и образовательных задач в своей профессиональной области, в том числе в междисциплинарных областях.</p>
<p><b>ПК-1:01.04.06 (1.3.7)</b>  Способность самостоятельно проводить научные исследования в области акустики и применять полученные результаты для решения практических задач.</p>	<p><b>З1 (ПК-1:01.04.06 (1.3.7) )</b>  <b>ЗНАТЬ</b>  основные законы, теоретические модели и современные методы исследований и математического моделирования в области акустики.</p> <p><b>У1 (ПК-1:01.04.06 (1.3.7) )</b>  <b>УМЕТЬ</b>  использовать полученные знания для анализа результатов научных исследований и решения практических задач в области акустики.</p> <p><b>В1 (ПК-1:01.04.06 (1.3.7) )</b>  <b>ВЛАДЕТЬ</b>  разработкой методов научного исследования для получения новых фундаментальных знаний в области акустики и способами применения этих знаний для создания прикладных технологий и решения практических задач.</p>

6. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся.

Объем дисциплины (модуля) составляет 3 зачётные единицы, в том числе 30 академических часов, отведенных на контактную работу обучающихся с преподавателем, 78 академических часов на самостоятельную работу обучающихся.

7. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия (если есть).

Отсутствуют.

8. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий.

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (часы)	В том числе			
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) Виды контактной работы, часы			Самостоятельная работа обучающегося, часы (виды самостоятельной работы – эссе, реферат, контрольная работа и пр. – указываются при необходимости)
		Занятия лекционного типа*	Занятия семинарского типа*	Всего	
Тема 1. Постановка задачи томографирования области пространства, содержащей неоднородности фазовой скорости звука, коэффициента поглощения и плотности для жидких и газообразных сред. Общие трудности процесса восстановления пространственного распределения этих характеристик.	7	2		2	5
Тема 2. Достаточность и избыточность акустических данных, получаемых в томографическом эксперименте в двумерном и трехмерном случаях. Основные уравнения для описания процесса рассеяния акустических полей на неоднородностях среды.	8	2		2	6
Тема 3. Приближение однократного рассеяния (борновское приближение). Упрощенная процедура восстановления акустических характеристик; дискретизация задачи. Возможность	7	2		2	5

воспроизведения мелкомасштабных и крупномасштабных пространственных деталей при облучении и приеме полей с разных направлений. Границы применимости борновского приближения в океанологии и медицине.					
Тема 4. Схемы томографирования типа времяпролетных. Их преимущества и недостатки по сравнению с борновским приближением; оценка разрешающей способности. Сопоставление акустических и рентгеновских томографических схем. Восстановление карт скорости звука и коэффициента поглощения в мягких биотканях по модельным и экспериментальным данным ультразвукового томографирования. Случаи слабой и высокой контрастности восстанавливаемых неоднородностей, а также низкого и высокого пространственного разрешения.	8	2		2	6
Тема 5. Корреляционные методы восстановления общей карты кровотока и вектора его скорости как дополнительная возможность ультразвуковой медицинской диагностики.	7	2		2	5
Тема 6. Многократное рассеяние акустических волн на высококонтрастных или крупных неоднородностях. Нелинейность задачи восстановления значений этих неоднородностей при классическом волновом подходе к решению; необходимость привлечения итерационных вычислительных схем.	8	2		2	6
Тема 7. Строгие функциональные методы как особый (неклассический) аппарат обработки экспериментальных данных в задачах акустической томографии. Изоэнергетическое пространство эффективных комплексных волновых векторов; взаимосвязь действительной и мнимой частей волновых векторов. Обобщенные функции Грина–Фаддеева, обобщенные волновые поля и амплитуда рассеяния. Структура и особенности (учет многократных рассеяний, однако линейность относительно неизвестных) двумерного функционального алгоритма для восстановления количественных карт акустических характеристик с высоким разрешением.	7	2		2	5
<b>Текущая аттестация в форме занятия семинарского типа.</b>	<b>2</b>			<b>2</b>	<b>2</b>
Тема 8. Проблема неустойчивости задачи восстановления и многочастотное обобщение функциональных методов как метод преодоления данной трудности. Восстановление вектора скорости движущейся среды функциональными методами. Иллюстрация высокой эффективности функциональных методов на примере восстановления томограмм скорости звука и коэффициента поглощения в отсутствие течений и в их присутствии.	7	2		2	5
Тема 9. Возможность выделения из единой комбинированной томограммы отдельных	8	2		2	6

томограмм различных акустических характеристик (скорости звука, плотности, коэффициента поглощения, а также частотной зависимости коэффициента поглощения) за счет привлечения многочастотного или импульсного режима томографирования.					
Тема 10. Реконструкция неоднородных значений акустического нелинейного параметра второго порядка в области томографирования за счет эффекта рассеяния звука на звуке.	7	2		2	5
Тема 11. Акустическая томография нелинейного параметра второго порядка с помощью кодированных сигналов, позволяющих ограничиться малым количеством излучающих и приемных преобразователей при проведении эксперимента. Регистрация кодированных сигналов на комбинационных частотах и их корреляционная обработка.	8	2		2	6
Тема 12. Модельные и физические эксперименты по томографии нелинейного параметра второго порядка. Специальная конструкция акустической зеркальной системы для преобразования цилиндрического волнового фронта в плоский фронт и наоборот в процессе получения экспериментальных данных от исследуемого объекта.	7	2		2	5
Тема 13. Возможность восстановления вектора скорости течений (в частности, кровотока) методами нелинейной акустической томографии. Доплеровский и пространственно-корреляционный методы восстановления вектора скорости.	8	2		2	6
Тема 14. Преимущества и трудности томографирования на основе неколлинеарных нелинейных эффектов третьего порядка. Модели акустических нелинейных томографов на основе трех волн, одновременно зондирующих исследуемый объект.	7	2		2	5
<b>Промежуточная аттестация – зачёт.</b>					<b>2</b>
<b>Итого</b>	<b>108</b>			<b>30</b>	<b>78</b>

## 9. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю).

### 9.1. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости:

Опишите постановку задач линейной и нелинейной акустической томографии.

Опишите отличие экспериментальных данных, регистрируемых при исследовании акватории во времяпролетных схемах и в строгих волновых схемах.

Напишите вид волнового уравнения для жидких и газообразных неоднородных сред в отсутствие течений и в их присутствии.

Напишите строгое уравнение Липпмана–Швингера, описывающее процесс рассеяния поля на неоднородностях среды, и напишите его приближенный вид в случае однократного рассеяния.

9.2. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации:

1. Задание для проверки З1 (ПК-1:01.04.06 (1.3.7) ) из п. 5.

Расскажите о преимуществах многочастотного режима зондирования исследуемой области.

Расскажите о доплеровском и корреляционном способах, позволяющих восстановить карты вектора скорости течений.

Расскажите об особенностях обработки сигналов функциональным методом.

Расскажите об особенностях томографического эксперимента на основе кодированных волн и регистрации сигналов на комбинационных частотах.

2. Задание для проверки У1 (ПК-1:01.04.06 (1.3.7) ) из п. 5.

Получите систему уравнений, предназначенную для восстановления значений скорости звука с низким пространственным разрешением (в лучевом приближении).

Оцените границы применимости борновского приближения в медицине и океанологии.

Получите условие на взаимную ориентацию действительной и мнимой частей эффективных волновых векторов, используемых при функциональном подходе в монохроматическом режиме зондирования.

3. Задание для проверки В1 (ПК-1:01.04.06 (1.3.7) ) из п. 5.

Решить задачу. Дано: характерный размер неоднородности и контраст скорости звука в ней. Найти дополнительный набег фазы, приобретаемый волной при прохождении через такую неоднородность.

Решить задачу. Дано: линейный размер исследуемой области и характерная длина волны зондирующих полей. Оценить разрешающую способность времяпролетной схемы.

Решить задачу. Дано: монохроматическая плоская волна, зондирующая исследуемый объект в двумерном пространстве. Найти: пространственный спектр этой волны. Как изменяется этот пространственный спектр при изменении направления падения волны?

Решить задачу. Дано: выражение для функции рассеивателя, формируемого неоднородностями акустических характеристик – скорости звука, плотности среды и коэффициента поглощения при фиксированной частоте зондирующего поля. Найти: минимальное количество частот, которое необходимо использовать в томографическом эксперименте, чтобы восстановить значения каждой из перечисленных характеристик по отдельности.



<b>ШКАЛА И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ результатов обучения (РО) по дисциплине (модулю)</b>				
<b>РО и соотв. виды оценочных средств</b>	<b>Оценка</b>	<b>незачёт</b>	<b>зачёт</b>	
	<b>Знания</b> <i>(виды оценочных средств: устные и письменные опросы, тестирующие знание основных законов и соотношений, и т. п.)</i>	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания
<b>Умения</b> <i>(виды оценочных средств: устные и письменные опросы, тестирующие знание принципов получения основных законов и соотношений, написание и защита рефератов на заданную тему, практические контрольные задания 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
<b>Навыки (владения, опыт)</b>	Отсутствие навыков (владений, опыта)	Наличие отдельных навыков (наличие фрагментарного)	В целом, сформированные навыки (владения), но	Сформированные навыки (владения), применяемые



<b>деятельности)</b> <i>(виды оценочных средств: решение новых (не разобранных на лекциях или в литературе) задач, вывод новых соотношений и т. п.)</i>		опыта)	используемые не в активной форме	при решении задач
--	--	--------	----------------------------------	-------------------

#### 10. Ресурсное обеспечение:

Перечень основной литературы:

1. Webb's physics of medical imaging (2<sup>nd</sup> ed.). Ed. Flower M. A. Boca Raton (Florida, US): CRC Press (Taylor & Francis Group), 2012. 864 p.
2. Бархатов А. Н., Горская Н. В., Горюнов А. А., Гурбатов С. Н., Можаяев В. Г., Руденко О.В. Акустика в задачах. Под ред. Гурбатова С. Н. и Руденко О. В. М.: Наука, Физматлит, 1996. 336 с.
3. Руденко О. В., Солюян С. И. Теоретические основы нелинейной акустики. М.: Наука, 1975. 288 с.
4. Скучик Е. Основы акустики. Под ред. Лямшева Л. М. Пер. с англ. М.: Мир, 1976. Т. 1. 520 с.; Т. 2. 542 с.
5. Буров В.А., Румянцева О.Д. Обратные волновые задачи акустической томографии. Ч. 2: Обратные задачи акустического рассеяния. М.: ЛЕНАНД, 2020. 768 с.
6. Буров В. А., Румянцева О. Д. Обратные волновые задачи акустической томографии. Ч. 4: Функционально-аналитические методы решения многомерной акустической обратной задачи рассеяния. М.: ЛЕНАНД, 2024. 504 с.
7. Горюнов А.А., Сасковец А.В. Обратные задачи рассеяния в акустике. М.: Изд-во МГУ, 1989. 152 с.
8. Ультразвук в медицине. Физические основы применения. Изд. 2-е. Под ред. Хилла К., Бембера Дж., тер Хаар Г. Пер. с англ. М.: Физматлит, 2008. 544 с.
9. Зотов Д. И., Румянцева О. Д., Шуруп А. С. Раздельное восстановление скорости звука, плотности среды и поглощения в задачах томографического типа // Известия Российской Академии Наук. Серия Физическая. 2018. Т. 82. № 1. С. 41–46.
10. Береза С. А., Буров В. А., Евтухов С. Н. Модельные эксперименты по акустической томографии нелинейного параметра // Акуст. журн. 2008. Т. 54. № 4. С. 522–534.
11. Буров В. А., Шмелев А. А., Зотов Д. И. Прототип томографической системы, использующей акустические нелинейные эффекты третьего порядка // Акуст. журн. 2013. Т. 59. № 1. С. 31–51.
12. Scattering. Scattering and inverse scattering in pure and applied science. Eds. Pike R., Sabatier P. C. San Diego: Academic Press, 2002. 1831 p.

13. Шуруп А. С., Румянцева О. Д. Совместное восстановление скорости звука, поглощения и течений функциональным алгоритмом Новикова–Агальцова // Акуст. журн. 2017. Т. 63. № 6. С. 700–718.

Перечень дополнительной учебной литературы:

1. Владимиров В. С. Уравнения математической физики. М.: Наука, 1967. 436 с.
2. Фаддеев Л. Д. Обратная задача квантовой теории рассеяния II // Сб.: Современные проблемы математики. М.: ВИНТИ, 1974. Т. 3. С. 93–180.
3. Котельников Е. А., Крюков Р. В., Буров В. А., Дмитриев К. В., Румянцева О. Д. Кодировка зондирующих сигналов при томографировании акустических нелинейных параметров // Известия Российской Академии Наук. Серия Физическая. 2019. Т. 83. № 1. С. 76–82.
4. Шуруп А. С., Румянцева О. Д. Совместное восстановление скорости звука, поглощения и течений функциональным алгоритмом Новикова–Агальцова // Акуст. журн. 2017. Т. 63. № 6. С. 700–718.
5. Буров В. А., Гуринович И. Е., Руденко О. В., Тагунов Е. Я. Реконструкция пространственного распределения параметра нелинейности и скорости звука в акустической нелинейной томографии // Акуст. журн. 1994. Т. 40. № 6. С. 922–929.
6. Dmitriev K. V., Rumyantseva O. D. Features of solving the direct and inverse scattering problems for two sets of monopole scatterers // Journal of Inverse and Ill-Posed Problems. 2021. V. 29. N 5. P. 775–789.
7. Дмитриев К. В., Румянцева О. Д. Особенности решения прямой и обратной задач рассеяния для неоднородностей малого волнового размера // Доклады Российской Академии Наук. Физика, технические науки. 2020. Т. 494. С. 13–20.
8. Буров В. А., Шмелев А. А., Крюков Р. В., Румянцева О. Д. Роль нелинейных взаимодействий в акустической томографии третьего порядка // Акуст. журн. 2015. Т. 61. № 6. С. 669–684.

Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»:

1. Сайт журнала «Акустический журнал» <http://www.akzh.ru/>
2. Сайт журнала «Техническая акустика» <http://www.ejta.org/ru>

Описание материально-технической базы:

аудиторный фонд физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова.

11. Язык преподавания.

Русский.

12. Преподаватель (преподаватели).

доц. Румянцева О.Д.