

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
**федеральное государственное автономное**  
**образовательное учреждение высшего образования**  
**«Национальный исследовательский**  
**Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского»**

**УТВЕРЖДЕНО**  
решением ученого совета  
ННГУ протокол от «02»  
декабря 2024 г. № 10

**Рабочая программа дисциплины**  
**«Акустика (кандидатский экзамен)»**

Уровень высшего образования  
**Подготовка кадров высшей квалификации**

Научная специальность  
**1.3.7. Акустика**

Программа подготовки  
научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре  
**Акустика**

Форма обучения  
**Очная**

Нижний Новгород  
2025 год

## 1. Место и цель дисциплины в структуре ПА

Дисциплина «Акустика (кандидатский экзамен)» относится к числу *обязательных* дисциплин образовательного компонента программы аспирантуры и изучается на 4 году обучения в 7 семестре.

**Цель дисциплины** – проверка знаний, умений и навыков, сформированных в ходе освоения программы аспирантуры и в процессе научно-исследовательской работы за три предшествующих года обучения в аспирантуре в области акустики.

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине

Выпускник, освоивший программу, должен

### Знать:

- современное состояние науки в области физической акустики;
- современные подходы к моделированию различных явлений в области акустики и оценке полученных результатов;
- методы критического анализа и оценки современных научных достижений, а также методы генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач с области физической акустики

### Уметь:

- определять наиболее актуальные направления исследований по тематике исследований;
- самостоятельно формулировать новые научные задачи в области физической акустики и предполагаемые методы их решения, исходя из тенденций развития науки и этапов профессионального роста.

### Владеть:

- методами планирования, подготовки, проведения НИР, анализа полученных данных, формулировки выводов и рекомендаций по специальности 1.3.7. Акустика, а именно в области физической акустики
- навыками самостоятельной постановки, критического переосмысления и решения новых задач в области физической акустики; навыками использования современных средств вычислительной техники для расчетов.

## 3. Структура и содержание дисциплины.

Объем дисциплины (модуля) составляет 2 з.е., всего – 72 часа, из которых 10 часов составляет контактная работа, 54 часа - самостоятельная работа обучающегося, 8 часов – контроль обучающихся и экзамен по дисциплине.

**Таблица 1**

**Содержание дисциплины**

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела	Форма проведения занятия	Форма текущего контроля*
1.	Акустические понятия и величины. Акустика идеальной жидкости. Плоские волны. Сферические волны.	1.1. Нелинейные уравнения гидродинамики идеальной жидкости. 1.2. Уравнения линейной акустики идеальной среды. 1.3. Плоская волна - однородная и неоднородная. Излучение плоских волн. 1.4. Величины второго порядка в линейной акустике. Энергия звуковых волн. 1.5 Сферически симметричные решения волнового уравнения.	сам.раб.	-

		1.6 Объемная скорость. Импеданс сферической волны. 1.7 Акустический диполь.		
2.	Поглощение и дисперсия звуковых волн.	2.1. Различные механизмы поглощения звука. 2.2 Уравнение Навье-Стокса 2.3. Линейные уравнения акустики вязкой и теплопроводящей среды	сам.раб.	-
3.	Звуковые волны в движущейся и неоднородной среде. Геометрическая акустика.	3.1 Уравнения акустики движущихся сред. Эффект Доплера. 3.2 Волновое уравнение в плавно неоднородной среде. Геометрическая акустика. Уравнение эйконала. Уравнение луча. 3.3 Рефракция лучей в неоднородной среде. Распространение звука в слоистой атмосфере. 3.4 Обобщенный закон Декарта-Снеллиуса. 3.5 Приближение ВКБ.	сам.раб.	Групповые консультации
4	Элементы теории упругости. Упругие волны в твёрдых телах	4.1 Основные виды деформаций упругих тел. Законы линейной теории упругости. 4.2 Волны в стержнях. 4.3. Волны в упругих средах.	сам.раб.	Групповые консультации

#### **4. Формы организации и контроля самостоятельной работы обучающихся**

**4.1.** Основной формой организации самостоятельной работы обучающихся является изучение рекомендованной литературы, доступ к которой может быть осуществлен через Фундаментальную библиотеку ННГУ им. Н.И. Лобачевского, использование ресурсов сети Интернет.

**4.2.** Контроль самостоятельной работы обучающихся проводится в форме консультаций и собеседования с научным руководителем.

#### **5. Фонд оценочных средств для аттестации по дисциплине**

##### **5.1. Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине.**

При выполнении всех работ учитываются следующие **основные критерии**:

- уровень теоретических знаний (подразумевается не только формальное воспроизведение информации, но и понимание предмета, которое подтверждается правильными ответами на дополнительные, уточняющие вопросы, заданные членами комиссии);
- умение использовать теоретические знания при анализе конкретных проблем, ситуаций;
- качество изложения материала, то есть обоснованность, четкость, логичность ответа, а также его полнота (то есть содержательность, не исключающая сжатости);
- способность устанавливать внутри- и межпредметные связи,
- оригинальность мышления, знакомство с дополнительной литературой и другие факторы.

Промежуточной аттестацией по дисциплине является экзамен

### ***Описание шкалы оценивания на промежуточной аттестации в форме экзамена***

Оценка *отлично* – исчерпывающее владение программным материалом, понимание сущности рассматриваемых процессов и явлений, твердое знание основных положений дисциплины, умение применять концептуальный аппарат при анализе актуальных проблем. Логически последовательные, содержательные, конкретные ответы на все вопросы.

Оценка *хорошо* – достаточно полные знания программного материала, правильное понимание сути вопросов, знание определений, умение формулировать тезисы и аргументы. Ответы последовательные и в целом правильные, хотя допускаются неточности, поверхностное знакомство с отдельными теориями и фактами, достаточно формальное отношение к рекомендованным для подготовки материалам.

Оценка *удовлетворительно* – фрагментарные знания, расплывчатые представления о предмете. Ответ содержит как правильные утверждения, так и ошибки, возможно, грубые. Испытуемый плохо ориентируется в учебном материале, не может устранить неточности в своем ответе даже после наводящих вопросов.

Оценка *неудовлетворительно* – отсутствие ответа хотя бы на один из основных вопросов, либо грубые ошибки в ответах, полное непонимание смысла проблем, не достаточно полное владение терминологией.

### ***5.2. Примеры типовых контрольных заданий или иных материалов, используемых для оценивания результатов обучения по дисциплине***

ПРОГРАММА-МИНИМУМ кандидатского экзамена по специальности

#### **1. Гидродинамика и теория упругости**

- Уравнения гидродинамики идеальной и вязкой теплопроводящей жидкости. Пределы применимости приближения сплошной среды.
- Сжимаемая и несжимаемая жидкость. Потенциальные и вихревые течения идеальной жидкости. Теорема Томпсона о циркуляции скорости жидкости.
- Гравитационно-капиллярные волны на поверхности жидкости. Внутренние гравитационные волны в стратифицированной жидкости; частота Брента-Вяйсяля.
- Течения вязкой жидкости (Пуазейля, Куэтта). Пограничный слой, уравнения Прандтля.
- Гидродинамические неустойчивости. Число Рейнольдса.
- Волны в твердых средах в присутствии границ (Рэлея, Лэмба, Лява, клиновые волны).

#### **2. Теория колебаний и волн**

- Линейные и нелинейные колебательные системы с одной степенью свободы. Явление резонанса. Резонатор Гельмгольца. Сферически-симметричные колебания газового пузырька в жидкости, уравнение Рэлея.
- Собственные и вынужденные колебания распределенных систем конечных размеров. Разложение вынужденных колебаний по собственным функциям системы (модам).
- Волновое уравнение. Плоские однородные и неоднородные волны. Плотность и поток энергии.
- Сферические и цилиндрические волны.
- Отражение и преломление акустических волн на плоской границе раздела двух сред. Закон Снеллиуса. Формулы Френеля. Акустический импеданс.
- Фазовая и групповая скорости. Физические причины появления зависимости скорости звука от частоты.
- Излучение звука пульсирующей и колеблющейся сферами. Монопольное и дипольное излучение, сопротивление излучению и присоединенная масса.

- Волны в средах с крупномасштабными неоднородностями. Приближение геометрической акустики. Уравнения эйконала, переноса. Ход лучей в подводном звуковом канале.

### 3. Физическая акустика

- Скорость распространения и механизмы затухания акустических волн в газах, жидкостях, твердых телах и биотканях.
- Методы измерения характеристик акустических полей: колебательной скорости, акустического давления, скорости распространения, поглощения, интенсивности.
- Дифракция звука на телах канонической формы (сфера, цилиндр).
- Рассеяние звука на малых препятствиях, пузырьках газа в жидкостях и неровностях границ.
- Распространение звука в движущейся среде. Движущиеся источники. Эффект Доплера.
- Флуктуации амплитуды, фазы и угла прихода луча при распространении звука в случайно-неоднородной среде.
- Римановы (простые) волны. Акустическое число Маха. Искажение профилей бегущих волн, генерация гармоник.
- Пилообразные волны. Нелинейное затухание и эффект насыщения.
- Учет вязкости. Уравнение Бюргерса. Акустическое число Рейнольдса.

### 4. Техническая и прикладная акустика

- Излучающие и приемные электроакустические преобразователи.
- Гидроакустические антенны. Характеристики направленности.
- Параметрические излучающие и приемные антенны. Характеристики направленности.
- Профиль скорости звука и структура звукового поля в океане. Подводный звуковой канал. Приповерхностный канал. Звук в мелком море.
- Пассивная гидролокация. Шумы океана и корабля. Выделение сигнала из помех.
- Методы гидроакустической связи и навигации.
- Звукопоглощение и звукоизоляция.
- Методы акустических измерений и калибровки преобразователей.
- Ультразвуковая медицинская диагностика. Интенсивный ультразвук в терапии и хирургии.
- Ультразвуковые методы измерений и неразрушающего контроля. Дефектоскопия промышленных изделий, строительных материалов и конструкций.

Список типовых контрольных заданий:

Задание 1.

Вывести полную систему уравнений гидродинамики идеальной неоднородной жидкости

Задание 2.

Провести линеаризацию уравнений гидродинамики идеальной неоднородной жидкости.

Получить систему уравнений линейной акустики идеальной жидкости.

Задание 3.

Вывести уравнение движения вязкой теплопроводящей жидкости

Задание 4

Получить систему уравнений линейной акустики вязкой теплопроводящей жидкости.

Задание 5.

Исходя из волнового уравнения в плавно неоднородной среде, получить уравнения геометрической акустики - Уравнение эйконала и Уравнение луча.

Задание 6.

Исходя из волнового уравнения в слоисто неоднородной среде, получить решение в приближении ВКБ.

Задание 7. Исходя из волнового уравнения получить сферически симметричные решения.

Задание 8. Вывести уравнение движения продольных волн в тонких стержнях.

Сформулировать условия «тонкого стержня»

Задание 9. Сформулировать граничные условия для упругих волн в однородных изотропных средах.

## **6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины.**

а) основная литература:

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика: Учебное пособие. В 10 т. Т. VI. Гидродинамика. М.: Физматлит, 2006. - 736 с.
2. Бреховских Л.М., Гончаров В.В. Введение в механику сплошных сред (в приложении к теории волн). М.: Наука, 1982. - 335 с.
3. Бреховских Л.М., Лысанов Ю.П. Теоретические основы акустики океана. Л.: Гидрометеиздат, 1982. - 264 с.
4. Исакович М.А. Общая акустика. М.: Наука, 1973. - 493 с.

б) дополнительная литература:

1. Блохинцев Д.И. Акустика неоднородной движущейся среды. М.: Наука, 1982.
2. Скучик Е. Основы акустики. Тт.1, 2. М.: Мир, 1976.
3. Акустика в задачах. Учеб. рук-во. / Под ред. С.Н.Гурбатова и О.В.Руденко. М.: Наука, 2009. - 336 с.

## **7. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

- помещения для проведения занятий: лекционного типа, семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также помещения для хранения и профилактического обслуживания оборудования и помещения для самостоятельной работы обучающихся, оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду ННГУ;
  - материально-техническое обеспечение, необходимое для реализации дисциплины, включая лабораторное оборудование;
  - лицензионное программное обеспечение: *Windows, MicrosoftOffice*;
  - обучающиеся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья обеспечиваются электронными и (или) печатными образовательными ресурсами в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья.
- ресурсам.

Рабочая программа учебной дисциплины составлена в соответствии с учебным планом, Положением о подготовке научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре) (Постановление Правительства РФ от 30.11.2021 № 2122), Федеральными государственными требованиями к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре) (Приказ Минобрнауки РФ от 20.10.2021 № 951).

Автор: д.ф.-м.н., проф. С.Н. Гурбатов

Рецензент: д.ф.-м.н., проф. Матросов В.В.

Декан: д.ф.-м.н., проф. В.В. Матросов

**Программа одобрена** на заседании Методической комиссии радиофизического факультета от «28» ноября 2024 г., протокол 06/24.