

**Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики
Российской академии наук» (ИПФ РАН)**

УТВЕРЖДАЮ:

Зам. директора по научной работе

_____ М.Ю. Глявин

« ____ » _____ 20__ г.

Рабочая программа дисциплины

Основы нелинейной акустики структурно-неоднородных сред

Уровень высшего образования
Подготовка кадров высшей квалификации

Направление подготовки / специальность
05.06.01 Науки о земле

Направленность образовательной программы
25.00.29 Физика атмосферы и гидросферы

Квалификация (степень)
Исследователь. Преподаватель-исследователь.

Форма обучения
очная

Нижний Новгород

20__

1. Место и цели дисциплины в структуре образовательной программы (ОП)

Дисциплина «Основы нелинейной акустики структурно-неоднородных сред» относится к числу профильных дисциплин вариативной части образовательной программы, является дисциплиной по выбору аспиранта, преподается на втором году обучения в четвертом семестре.

Целями освоения дисциплины являются:

- формирование у аспирантов современных представлений об основных физических эффектах, связанных с влиянием неоднородностей структуры среды различных масштабов на нелинейное преобразование (распространение, взаимодействие, самовоздействие) звуковых волн;
- формирование профессиональных компетенций в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 05.06.01 «Науки о земле» и направленностью подготовки 25.00.29 «Физика атмосферы и гидросферы».

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

Таблица 1:

Планируемые результаты обучения по дисциплине

| Формируемые компетенции | Планируемые результаты обучения по дисциплине, характеризующие этапы формирования компетенций |
|---|--|
| ПК-2 <i>способность проводить научные исследования и решать научно-исследовательские задачи, соответствующие направленности подготовки, используя знания фундаментальных разделов наук о Земле, современные методы исследований и информационные технологии, с учетом отечественного и зарубежного опыта</i> (этап освоения – базовый) | З1 (ПК-2) Знать основные уравнения нелинейной акустики структурно-неоднородных сред У1 (ПК-2) Уметь пользоваться основными подходами для описания распространения и взаимодействия акустических волн разной амплитуды в структурно-неоднородных средах В1 (ПК-2) Владеть навыками решения задач, основанными на полученных в ходе освоения дисциплины знаниях по теории распространения и взаимодействия нелинейных акустических волн в структурно-неоднородных средах |
| ПК-3 <i>способность использовать специализированные знания в области физики атмосферы и гидросферы для решения научно-инновационных задач и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности</i> (этап освоения – базовый) | З1 (ПК-2) Знать теоретические основы организации научно-исследовательской деятельности, методы сбора информации для решения поставленных исследовательских задач, методы анализа данных, необходимых для проведения конкретного исследования У1 (ПК-2) Уметь планировать, организовывать и проводить научно-исследовательские и производственно-технические исследования с применением современной аппаратуры, оборудования и компьютерных технологий; самостоятельно выполнять лабораторные, вычислительные физические исследования при решении научно-исследовательских и производственных задач с использованием современной аппаратуры и вычислительных средств В1 (ПК-2) Владеть навыками работы на современной аппаратуре и оборудовании для выполнения физических исследований; способностью самостоятельно с применением современных компьютерных технологий анализировать, обобщать и систематизировать результаты; навыками публикации результатов научных исследований в рецензируемых научных изданиях |

3. Структура и содержание дисциплины

Объем дисциплины составляет 3 зачетные единицы, всего 108 часов, из которых 38 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (36 часов занятия лекционного типа, в т.ч. мероприятия текущего контроля успеваемости, 2 часа мероприятия промежуточной аттестации), 70 составляет самостоятельная работа обучающегося.

Структура дисциплины

| Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине | Всего (часы) | В том числе | | | |
|---|---------------------------|---|--|-------|---|
| | | Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы | | | Самостоятельная работа обучающегося, часы |
| | | из них | | Всего | |
| Занятия лекционного типа | Занятия семинарского типа | | | | |
| Основные уравнения, используемые в нелинейной акустике | 22 | 8 | | 8 | 14 |
| Параметрическое излучение звука в однородной и неоднородной среде с регулярными крупномасштабными неоднородностями (плоскосоистых волноводах) | 22 | 8 | | 8 | 14 |
| Параметрическое излучение звука в среде с крупномасштабными случайными неоднородностями показателя преломления. | 20 | 6 | | 6 | 14 |
| Когерентное нелинейное обратное рассеяние на слоисто-неоднородном распределении параметра нелинейности среды | 20 | 6 | | 6 | 14 |
| Механизмы структурно-обусловленного изменения | 22 | 8 | | 8 | 14 |
| в т.ч. текущий контроль | | 4 | | | |
| Промежуточная аттестация — Зачет | | | | 2 | |
| Итого | | 108 | | | |

Таблица 3:

Содержание разделов дисциплины

| № п/п | Наименование раздела дисциплины | Содержание раздела (темы) | Форма проведения занятий (лекции, семинары и т.д.) |
|-------|---|---|--|
| 1 | Основные уравнения, используемые в нелинейной акустике | 1.1. Введение. Акустика. Уравнения механики сплошных сред и получение на их основе волновых уравнений в акустике. 1.2 Происхождение нелинейных членов в волновом уравнении (“физическая” и “геометрическая” нелинейность). Малые параметры в уравнениях нелинейной акустики. 1.3 Акустическое число Рейнольдса, его физический смысл. 1.4. Законы сохранения на фронте слабой ударной волны (вывод о возрастании энтропии в даже в невязком приближении). | Лекции, сам.раб. |
| 2 | Параметрическое излучение звука в однородной и неоднородной среде с регулярными крупномасштабными неоднородностями (плоскосоистых волноводах) Параметрическое излучение звука в однородной и неоднородной среде с регулярными круп- | 2.1. Получение неоднородного волнового уравнения с нелинейным источником в правой части для расчета поля параметрических излучателей. 2.2. Интеграл возбуждения в однородном пространстве. Интерпретация условий синхронизма волн накачки и вторичных волн. Оценка ширины диаграммы направленности нелинейной (параметрической) антенны бегущей волны из кинематических соображений. 2.3. Анализ интеграла возбуждения в приближении высоконаправленной и сферически расходящейся волны накачки. Классификация режимов работы ПИ (расширенное понимание режима Вестервельты а и режим Берктея), различные формулировки критериев режимов работы ПИ (в терминах расходимости пучка накачки и эффективной длины антенны, на языке френелевских объемов). Частотные зависимости излучения ПИ в различных режимах. 2.4. Получение интегрального выражения для поля излучения ПИ в вол- | Лекции, сам.раб. |

| | | | |
|---|---|--|------------------|
| | номасштабными неоднородностями (плоскостных волноводах) | новоде. Качественное обсуждение особенностей условий синхронизма поля накачки и вторичных волн в волноводе. Аналоги критериев режимов Вестервельта и Берктя излучения ПИ в волноводе. 2.5. Модовая структура и горизонтальная диаграмма направленности ПИ в волноводе (расщепление диаграммы). | |
| 3 | Параметрическое излучение звука в среде с крупномасштабными случайными неоднородностями показателя преломления. | 3.1. Понятие крупномасштабных случайных неоднородностей показателя преломления. Примеры неоднородностей атмосферы и океана. 3.2. Расчет среднего поля ПИ в среде с крупномасштабными случайными неоднородностями показателя преломления. 3.3. Интенсивность излучения ПИ в среде с крупномасштабными случайными неоднородностями показателя преломления. | Лекции, сам.раб. |
| 4 | Когерентное нелинейное обратное рассеяние на слоисто-неоднородном распределении параметра нелинейности среды | 4.1. Возможности применения эффекта для профилирования пространственного распределения параметра нелинейности. 4.2. Понятие о других методах реконструкции крупномасштабных неоднородностей нелинейных свойств среды. | Лекции, сам.раб. |
| 5 | Механизмы структурно-обусловленного изменения акустических нелинейных, диссипативных и дисперсионных свойств микронеоднородных материалов | 5.1. Общие черты микроструктурно-обусловленного изменения нелинейных свойств у различных микронеоднородных материалов. Качественная формулировка механизма микроструктурно-обусловленной нелинейности. 5.2. Обобщенная модель возрастания нелинейных упругих параметров среды (одномерное приближение). Зависимость уровня нелинейности от концентрации степени податливости дефектов. Причины существования максимума нелинейного параметра как функции концентрации дефектов. 5.3. Важнейшие структурно-обусловленные линейные свойства микронеоднородных материалов: объяснение свойства почти постоянной добротности горных пород и других микронеоднородных сред. 5.4. Обобщение одномерной модели микронеоднородной среды на трехмерный случай – различие характеристик волн различных типов, о возможности существования отрицательного коэффициента Пуассона микронеоднородных сред. Примеры экспериментальных зависимостей. 5.5. Соответствие величины микроструктурно-обусловленного декремента поглощения и волновых скоростей для упругих волн различных типов. О возможности приблизительной оценки декремента на основе сравнения скоростей упругих волн в микронеоднородной среде и однородной среде-матрице. 5.6. Амплитудно-зависимое поглощение негистерезисного и нефрикционного типа в микронеоднородных средах | Лекции, сам.раб. |

4. Образовательные технологии

Основными видами образовательных технологий дисциплины «Основы нелинейной акустики структурно-неоднородных сред» являются занятия лекционного типа с применением технологий интерактивного обучения (презентаций), проблемный метод изложения материала, диалоговая форма проведения занятий и самостоятельная работа аспиранта.

5. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Используются следующие виды самостоятельной работы аспиранта: в читальном зале библиотеки ИПФ РАН, в компьютерном классе с доступом к ресурсам Интернет и в домашних условиях. Порядок выполнения самостоятельной работы соответствует программе курса и контролируется в ходе аудиторных занятий по данной дисциплине. Самостоятельная работа подкрепляется учебно-методическим и информационным обеспечением, включающим рекомендованные учебники и учебно-методические пособия, доступные ресурсы в Интернет по тематике курса, а также конспекты и презентации лекций.

6. Фонд оценочных средств для аттестации по дисциплине

6.1. Перечень компетенций выпускников образовательной программы с указанием результатов обучения (знаний, умений, владений), и уровня их сформированности

Описание показателей и критериев оценивания компетенций приведены в приложении 1.

6.2. Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине. Описание шкал оценивания

Для оценивания сформированности компетенций используется промежуточная аттестация в форме зачета. Зачет состоит из индивидуального собеседования и решения практических контрольных заданий. Критерии оценок выполнения задания:

| | |
|------------|---|
| Зачтено | В целом удовлетворительная подготовка, возможно с заметными, но не грубыми ошибками или недочетами. Аспирант дает полный ответ на все теоретические вопросы собеседования, возможно с небольшими неточностями; допускаются негрубые ошибки при ответах на дополнительные вопросы. Полученные ответы отличаются логической последовательностью, достаточной четкостью в выражении мыслей, возможно с не всегда полной обоснованностью выводов. |
| Не зачтено | Подготовка недостаточная и требует дополнительного изучения материала. Аспирант дает ошибочные ответы как на теоретические вопросы, так и на наводящие и дополнительные вопросы преподавателя, что говорит о недостатке знаний по общефизическим и профессиональным дисциплинам, отсутствии умения применять на практике приобретенные навыки. |

6.3. Контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения, характеризующих сформированность компетенций.

Вопросы и задания для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины:

Для оценки сформированности профессиональных компетенций ПК-2, ПК-3:

1. Уравнения механики сплошных сред
 2. Волновые уравнения в акустике
 3. Акустическое число Рейнольдса, его физический смысл.
 4. Законы сохранения на фронте слабой ударной волны
 5. Неоднородное волновое уравнение с нелинейным источником в правой части для расчета поля параметрических излучателей
 6. Интеграл возбуждения в однородном пространстве.
 7. Оценка ширины диаграммы направленности нелинейной антенны
 8. Классификация режимов работы ПИ
 9. Частотные зависимости излучения ПИ в различных режимах.
 10. Интегральное выражение для поля излучения ПИ в волноводе.
 11. Модовая структура и горизонтальная диаграмма направленности ПИ в волноводе
 12. Параметрическое излучение звука в среде с крупномасштабными случайными неоднородностями
 13. Когерентное нелинейное обратное рассеяние на слоисто-неоднородном распределении параметра нелинейности
 14. Методы реконструкции крупномасштабных неоднородностей нелинейных свойств среды.
 15. Механизм микроструктурно-обусловленной нелинейности.
 16. Модель возрастания нелинейных упругих параметров среды (одномерное приближение).
 17. Структурно-обусловленные линейные свойства микroneоднородных материалов
 18. Оценка декремента на основе сравнения скоростей упругих волн в микroneоднородной среде и однородной среде-матрице.
- Амплитудно-зависимое поглощение негистерезисного и нефрикционного типа в микroneоднородных средах.

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

1. В.Ю. Зайцев, С. Н. Гурбатов, Н. В. Прончатов-Рубцов, Нелинейные акустические явления в структурно-неоднородных средах, эксперименты и модели, Учебное пособие, Нижний Новгород, ИПФ РАН, 2009, 268 стр. – 3 экз.
2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика: Учебное пособие. В 10 т. Т. VI. Гидродинамика. М.: Наука. - 736 стр. – 7 экз.
3. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика: Учебное пособие. В 10 т. Т. VII. Теория упругости. М.: Наука. -264 стр. – 4 экз.

4. Новиков Б. К., Руденко О. В., Тимошенко В.И. *Нелинейная гидроакустика*. Л.: Судостроение. 1980. 264 с. – 7 экз.
5. Виноградова М.Б., Руденко О. В., Сухоруков А.П. *Теория волн*. М.: Наука. 1990. – 7 экз.
6. Сборник научных трудов «Нелинейная акустика. Теоретические и экспериментальные исследования» Редактор Н.А. Городецкая. [Электронный ресурс – Виртуальная библиотека ИПФ РАН] <http://www.iapras.ru/biblio/img/na.pdf>

б) дополнительная литература:

1. Зарембо Л.К., Красильников В.А. *Введение в нелинейную акустику*. М.:Наука. 1966. –2 экз.
2. В.Е. Назаров, А.В. Радостин, Нелинейные волновые процессы в упругих микронеоднородных средах, Нижний Новгород, ИПФ РАН, 2007, 256 стр. – 2 экз.
3. Наугольных К. А., Островский Л.А. *Нелинейные волновые процессы в акустике*. М.: Наука. 1990. – 4 экз.
4. THE FORMATION OF ACOUSTICAL FIELDS IN OCEANIC WAVEGUIDES. Co-Editors Prof. V. I. Talanov Prof. V. A. Zverev.1995. [Электронный ресурс – Виртуальная библиотека ИПФ РАН]. <http://www.iapras.ru/biblio/img/af.pdf>

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины.

- Специальные помещения для проведения занятий: лекционного типа, семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также помещения для самостоятельной работы обучающихся, оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет";
- Лицензионное программное обеспечение (*Windows, Microsoft Office*);
- Обучающиеся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья обеспечиваются (при необходимости) электронными и (или) печатными образовательными ресурсами в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО (подготовка кадров высшей квалификации) по направлению подготовки 05.06.01 «Науки о Земле», направленность (специальность) - 25.00.29 «Физика атмосферы и гидросферы».

Автор _____ В.Ю. Зайцев

Ответственный за направление подготовки _____ Е.А. Мареев,
член-корр. РАН, д.ф.-м.н.

Рецензент:

Зав. отделом физики атмосферы и
микроволновой диагностики _____ А.М. Фейгин, д.ф.-м.н., с.н.с.

Программа принята на заседании Ученого совета отделения геофизических исследований и
Центра гидроакустики ИПФ РАН, протокол № ____ от _____ года.

Ученый секретарь ОГИиЦГ _____ М.В. Шаталина

Карты компетенций, в формировании которых участвует дисциплина

ПК-2: способность проводить научные исследования и решать научно-исследовательские задачи, соответствующие направленности подготовки, используя знания фундаментальных разделов наук о Земле, современные методы исследований и информационные технологии, с учетом отечественного и зарубежного опыта

| Индикаторы компетенции | Критерии оценивания результатов обучения | |
|---|---|--|
| | Зачтено | Не зачтено |
| <u>Знания:</u> Знать основные уравнения нелинейной акустики структурно-неоднородных сред | Успешная демонстрация знаний по базовым разделам дисциплины | Отсутствие знаний или фрагментарные знания без положительного результата применения |
| <u>Умения:</u> Уметь пользоваться основными подходами для описания распространения и взаимодействия акустических волн разной амплитуды в структурно-неоднородных средах | Успешная демонстрация умений по базовым разделам дисциплины | Отсутствие умений или фрагментарное присутствие умений без положительного результата |
| <u>Навыки:</u> Владеть навыками решения задач, основанными на полученных в ходе освоения дисциплины знаниях по теории распространения и взаимодействия нелинейных акустических волн в структурно-неоднородных средах | Успешная демонстрация навыков решения задач на базе полученных в ходе освоения дисциплины знаниях | Отсутствие навыков или фрагментарные навыки без положительного результата применения |
| Шкала оценок по проценту правильно выполненных контрольных заданий | 50 – 100% | 0 – 50 % |

ПК-3: способность использовать специализированные знания в области физики атмосферы и гидросферы для решения научно-инновационных задач и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности

| Индикаторы компетенции | Критерии оценивания результатов обучения | |
|--|---|--|
| | Зачтено | Не зачтено |
| <u>Знания:</u> Знать теоретические основы организации научно-исследовательской деятельности, методы сбора информации для решения поставленных исследовательских задач, методы анализа данных, необходимых для проведения конкретного исследования | Успешная демонстрация знаний по базовым разделам дисциплины | Отсутствие знаний или фрагментарные знания без положительного результата применения |
| <u>Умения:</u> Уметь планировать, организовывать и проводить научно-исследовательские и производственно-технические исследования с применением современной аппаратуры, оборудования и компьютерных технологий; самостоятельно выполнять лабораторные, вычислительные физические исследования при решении научно-исследовательских и производственных задач с использованием современной аппаратуры и вычислительных средств | Успешная демонстрация умений по базовым разделам дисциплины | Отсутствие умений или фрагментарное присутствие умений без положительного результата |
| <u>Навыки:</u> Владеть навыками работы на современной аппаратуре и оборудовании для выполнения физических исследований; способностью самостоятельно с применением современных компьютерных технологий анализировать, обобщать и систематизировать результаты; навыками публикации результатов научных исследований в рецензируемых научных изданиях | Успешная демонстрация навыков решения задач на базе полученных в ходе освоения дисциплины знаниях | Отсутствие навыков или фрагментарные навыки без положительного результата применения |
| Шкала оценок по проценту правильно выполненных контрольных заданий | 50 – 100% | 0 – 50 % |