

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского»**

Радиофизический факультет

УТВЕРЖДЕНО

решением президиума Ученого совета ННГУ

протокол № 1 от 16.01.2024 г.

Рабочая программа дисциплины

Основы оптоакустики

Уровень высшего образования

Магистратура

Направление подготовки / специальность

03.04.03 - Радиофизика

Направленность образовательной программы

Квантовая радиофизика и лазерная физика

Форма обучения

очная

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.ДВ.04.03 Основы оптоакустики относится к части, формируемой участниками образовательных отношений образовательной программы.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

| Формируемые компетенции (код, содержание компетенции) | Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции | | Наименование оценочного средства | |
|--|--|---|------------------------------------|---|
| | Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора) | Результаты обучения по дисциплине | Для текущего контроля успеваемости | Для промежуточной аттестации |
| ПК-1: Способен анализировать и обрабатывать научную информацию и результаты исследований в области квантовой радиофизики, лазерной физики и фотоники при решении задач своей профессиональной деятельности | <p>ПК-1.1: Применяет принципы сбора и анализа информации, рассматривает и оценивает современные научные достижения, а также генерирует новые идеи при решении исследовательских и практических задач</p> <p>ПК-1.2: Работает с большим объемом данных, систематизирует и анализирует информацию, полученную из различных источников, в том числе с использованием современных информационных и коммуникационных технологий</p> | <p>ПК-1.1: Знать основные принципы генерации и детектирования оптико-акустических сигналов. Владеть современными теоретическими и экспериментальными методами исследований оптико-акустических полей</p> <p>ПК-1.2: Знать основные принципы генерации и детектирования оптико-акустических сигналов. Владеть современными теоретическими и экспериментальными методами исследований оптико-акустических полей</p> | Доклад | Зачёт: Контрольные вопросы Задачи |
| ПК-2: Способен выполнять теоретические и экспериментальные исследования и разработки по отдельным разделам тем научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области квантовой радиофизики, | <p>ПК-2.1: Анализирует современное состояние исследований в области квантовой радиофизики, лазерной физики и фотоники, современные подходы к описанию и моделированию различных физических явлений и оценке полученных результатов</p> <p>ПК-2.2: Выбирает и применяет аналитические, аналитико-численные, экспериментальные методы</p> | <p>ПК-2.1: Знать современное состояние исследований в области оптоакустики. Уметь определять наиболее актуальные направления исследований биологических сред оптико-акустическими методами.</p> <p>ПК-2.2: Знать современное состояние исследований в области</p> | Доклад | Зачёт: Контрольные вопросы |

| | | | | |
|--|--|--|--|--|
| лазерной физики и фотоники и оформлять их результаты | исследования в соответствии с типом поставленной задачи ПК-2.3: Участвует в планировании, подготовке и проведении НИР ПК-2.4: Анализирует полученные данные, формулирует выводы и рекомендации по отдельным разделам тем в области квантовой радиофизики, лазерной физики и фотоники | оптоакустики. Уметь определять наиболее актуальные направления исследований биологических сред оптико-акустическими методами. ПК-2.3: Знать современное состояние исследований в области оптоакустики. Уметь определять наиболее актуальные направления исследований биологических сред оптико-акустическими методами. ПК-2.4: Знать современное состояние исследований в области оптоакустики. Уметь определять наиболее актуальные направления исследований биологических сред оптико-акустическими методами. | | |
|--|--|--|--|--|

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

| | |
|--|--------------------------|
| | очная |
| Общая трудоемкость, з.е. | 2 |
| Часов по учебному плану | 72 |
| в том числе | |
| аудиторные занятия (контактная работа): | |
| - занятия лекционного типа | 0 |
| - занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы) | 32 |
| - КСР | 1 |
| самостоятельная работа | 39 |
| Промежуточная аттестация | 0 Зачёт |

3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

| Наименование разделов и тем дисциплины | Всего (часы) | в том числе | | | |
|--|-----------------|--|--|-------------|---|
| | | Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них | | | Самостоятельная работа обучающегося, часы |
| | | Занятия лекционного типа | Занятия семинарского типа (практические занятия/лабораторные работы), часы | Всего | |
| | 0 Ф 0 | 0 Ф 0 | 0 Ф 0 | 0 Ф 0 | 0 Ф 0 |
| Тема 1. Введение в оптоакустику | 8 | | 4 | 4 | 4 |
| Тема 2. Распространение света в конденсированных мутных средах | 8 | | 4 | 4 | 4 |
| Тема 3. Тепловое возбуждение ультразвуковых колебаний | 8 | | 4 | 4 | 4 |
| Тема 4. Регистрация ультразвуковых сигналов | 10 | | 4 | 4 | 6 |
| Тема 5. Лазерная оптико-акустическая спектроскопия | 9 | | 4 | 4 | 5 |
| Тема 6. Лазерная оптико-акустическая микроскопия | 9 | | 4 | 4 | 5 |
| Тема 7. Лазерная оптико-акустическая томография | 9 | | 4 | 4 | 5 |
| Тема 8. Оптоакустика в медицине и биологии | 10 | | 4 | 4 | 6 |
| Аттестация | 0 | | | | |
| КСР | 1 | | | | 1 |
| Итого | 72 | 0 | 32 | 33 | 39 |

Содержание разделов и тем дисциплины

-

Практические занятия /лабораторные работы организуются, в том числе, в форме практической подготовки, которая предусматривает участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

На проведение практических занятий / лабораторных работ в форме практической подготовки отводится: очная форма обучения - 4 ч.

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

Самостоятельная проработка лекционного и дополнительного материала. Подготовка обучающимися научных сообщений по литературе о новых достижениях в области оптоакустики

5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:

5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Доклад) для оценки сформированности компетенции ПК-1:

1. Оптоакустический генератор Бэлла на модулированном солнечном свете.
2. Лазерная генерация ультразвука.
3. Теоретическое описание взаимодействия лазерного излучения с биологической тканью
4. Теоретическое описание процесса распространения оптико-акустических импульсов.
5. Методы численного моделирования в оптоакустике.

5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Доклад) для оценки сформированности компетенции ПК-2:

1. Ультразвуковые антенны для регистрации оптико-акустических импульсов.
2. Оптико-акустические измерения оксигенации.
3. Оптико-акустическая микроскопия.
4. Оптико-акустическая томография.
5. Медицинские приложения лазерной оптоакустики.

Критерии оценивания (оценочное средство - Доклад)

| Оценка | Критерии оценивания |
|------------|---|
| зачтено | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне, выше предусмотренного программой ИЛИ Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично» ИЛИ Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо» ИЛИ Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо» ИЛИ Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно» |
| не зачтено | Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо» ИЛИ Хотя бы одна компетенция |

| | |
|--------|--------------------------------|
| Оценка | Критерии оценивания |
| | сформирована на уровне «плохо» |

5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

Шкала оценивания сформированности компетенций

| Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций) | плохо | неудовлетворительно | удовлетворительно | хорошо | очень хорошо | отлично | превосходно |
|--|---|--|--|---|---|--|--|
| | не зачтено | | | зачтено | | | |
| <u>Знания</u> | Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа | Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки | Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок | Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок | Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок | Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет. | Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки. |
| <u>Умения</u> | Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа | При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки | Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме | Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами | Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами. | Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельным и несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме | Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов |
| <u>Навыки</u> | Отсутствие базовых навыков. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа | При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки | Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами | Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами | Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов | Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов | Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач |

Шкала оценивания при промежуточной аттестации

| Оценка | | Уровень подготовки |
|------------|---------------------|--|
| зачтено | превосходно | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой |
| | отлично | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично». |
| | очень хорошо | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо» |
| | хорошо | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо». |
| | удовлетворительно | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно» |
| не зачтено | неудовлетворительно | Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно». |
| | плохо | Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо» |

5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:

5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-1

1. Характерные пространственно-временные масштабы в лазерной оптоакустике
2. Формула для оптико-акустического преобразования в приближении предельно короткого лазерного импульса.
3. Форма лазерного оптико-акустического отклика точечного источника в одномерном, двумерном и трехмерном случае.
4. Решение волнового уравнения для пространственно-распределенного теплового источника, создаваемого лазерным импульсом предельно короткой длительности.
5. Принцип действия лазерного оптико-акустического микроскопа.
6. Формулы для поперечного и продольного пространственного разрешения лазерного оптико-акустического микроскопа.
7. Эффективный коэффициент ослабления лазерного излучения в поглощающей и рассеивающей среде в диффузионном приближении

8. Количественные измерения коэффициентов оптического поглощения и рассеяния по форме оптико-акустических импульсов.
9. Основные отличия оптико-акустической микроскопии от томографии.
10. Временная селекция оптико-акустических и лазерно-возбужденных ультразвуковых импульсов.

5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-2

1. Основные условия, необходимые для генерации оптико-акустических сигналов.
2. Закон Бугера, характеризующий ослабление светового пучка в поглощающей среде.
3. Временные профили оптико-акустических сигналов от протяженных источников.
4. Особенности затухания ультразвука в воде и биотканях.
5. Принцип работы широкополосного пьезоэлектрического приемника на основе пленки из поливинилиденфторида.
6. Использование методов оптико-акустической визуализации в медицине.
7. Типы антенн в оптико-акустической визуализации.
8. Численное моделирование распространения фотонов с помощью метода Монте-Карло.
9. Методы оптико-акустической спектроскопии для измерения оксигенации крови.
10. Алгоритм томографической реконструкции оптико-акустических источников.

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

| Оценка | Критерии оценивания |
|---------|---|
| зачтено | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне, выше предусмотренного программой ИЛИ Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично» ИЛИ Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо» ИЛИ Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо» ИЛИ Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне |

| Оценка | Критерии оценивания |
|------------|---|
| | «удовлетворительно» |
| не зачтено | Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо» ИЛИ Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо» |

5.3.3 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ПК-1

1. Поглощающее полупространство (коэффициент Грюнайзена $\Gamma=0.5$, коэффициент поглощения $\mu_a=2$ см⁻¹) освещается предельно-коротким лазерным импульсом (освещенность $H=1$ мДж/см²). Оценить амплитуду оптико-акустического импульса.
2. Поглощающее полупространство (коэффициент Грюнайзена $\Gamma=0.5$) освещается предельно-коротким лазерным импульсом (освещенность $H=1$ мДж/см²). Измеренная амплитуда оптико-акустического импульса составляет 1кПа. Оценить коэффициент поглощения поглощающей среды μ_a .
3. Лазерный импульс предельно-короткой длительности падает на полупространство (коэффициент поглощения $\mu_a=1$ см⁻¹, приведенный коэффициент рассеяния $\mu_s'=11$ см⁻¹, скорость звука $c = 1.5$ мм/мкс). Оценить характерную длительность оптико-акустического импульса.
4. Лазерный импульс предельно-короткой длительности падает на полупространство (коэффициент поглощения $\mu_a=1$ см⁻¹, скорость звука $c = 1.5$ мм/мкс). Измеренная длительность оптико-акустического импульса составляет 100 мкс. Оценить приведенный коэффициент рассеяния μ_s'
5. Лазерный импульс длительностью 30 нс освещает точечный поглотитель в воде (скорость звука $c = 1.5$ мм/мкс). Оценить характерную длительность оптико-акустического импульса.
6. Определить предельную глубину d одновременной оптико-акустической и лазерной ультразвуковой микроскопии для антенны с фокусным расстоянием F .
7. В распоряжении экспериментатора оптико-акустический микроскоп и лазер с длинами волн излучения 532 нм и 1064 нм. Какая длина волны обеспечит наибольший контраст при оптико-акустической визуализации кровеносных сосудов человека?
8. В распоряжении экспериментатора оптико-акустический микроскоп и лазер с длинами волн излучения 532 нм и 1064 нм. Какая длина волны обеспечит наибольшую глубину визуализации кровеносных сосудов человека?
9. Оптико-акустический микроскоп основан на сферической антенне: фокусное расстояние 6 мм, апертура 6 мм, полоса приемных частот 30 МГц. Оценить предельное продольное и поперечное пространственное разрешение антенны при трехмерной оптико-акустической микроскопии мягких биологических тканей.
10. Оптико-акустический томограф основан на многоэлементной цилиндрической антенне: длина 64-элементной линейки 16 мм, полоса приемных частот 30 МГц. Оценить предельное продольное и

поперечное пространственное разрешение антенны при двумерной оптико-акустической томографии мягких биологических тканей.

Критерии оценивания (оценочное средство - Задачи)

| Оценка | Критерии оценивания |
|------------|---|
| зачтено | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне, выше предусмотренного программой ИЛИ Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично» ИЛИ Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо» ИЛИ Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо» ИЛИ Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно» |
| не зачтено | Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо» ИЛИ Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо» |

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

Основная литература:

1. Андреев А. Д. Физика. Волны : учебное пособие / Андреев А. Д., Колгатин С. Н., Черных Л. М. - Санкт-Петербург : СПбГУТ им. М.А. Бонч-Бруевича, 2015. - 38 с. - Библиогр.: доступна в карточке книги, на сайте ЭБС Лань. - Книга из коллекции СПбГУТ им. М.А. Бонч-Бруевича - Физика., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=779845&idb=0>.
2. Буров Валентин Андреевич. Обратные волновые задачи акустической томографии. Ч. 2. Обратные задачи акустического рассеяния / В. А. Буров, О. Д. Румянцева. - Москва : ЛЕНАНД, 2020. - 768 с. - ISBN 978-5-9710-6419-0 : 350.00., 3 экз.
3. Акопян Валентин Бабкенович. Ультразвук в медицине, ветеринарии и биологии : Учебное пособие Для СПО / Акопян В. Б., Ершов Ю. А., Щукин С. И. ; под ред. Щукина С.И. - 3-е изд. - Москва : Юрайт, 2021. - 224 с. - (Профессиональное образование). - ISBN 978-5-534-13581-7. - Текст : электронный // ЭБС "Юрайт"., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=764092&idb=0>.

Дополнительная литература:

1. Проблемы оптической физики и биофотоники. SFM-2019: материалы 7-го Международного симпозиума и 23-й Международной молодежной научной школы Saratov Fall Meeting–2019. - Саратов : СГУ, 2020. - 106 с. - Библиогр.: доступна в карточке книги, на сайте ЭБС Лань. - Книга из коллекции СГУ - Физика. - ISBN 978-5-292-04638-7., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=754159&idb=0>.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

-

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки/специальности 03.04.03 - Радиофизика.

Автор(ы): Бодров Сергей Борисович, кандидат физико-математических наук.

Заведующий кафедрой: Бакунов Михаил Иванович, доктор физико-математических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 18.12.2023 г., протокол № 09/23.