

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

УТВЕРЖДАЮ

Декан радиофизического факультета

\_\_\_\_\_ В.В. Матросов

“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2021 г.

**Рабочая программа дисциплины**

**Оптоакустика**

Направление подготовки  
**03.06.01 "Физика и астрономия"**

Направленность подготовки  
**01.04.21 "Лазерная физика"**

Квалификация выпускника  
**Исследователь. Преподаватель-исследователь**

Форма обучения  
**Очная**

Нижний Новгород  
2021

## 1. Место дисциплины в структуре основной профессиональной образовательной программы (ОПОП)

Дисциплина Оптоакустика относится к числу профессиональных дисциплин, является дисциплиной выбора и изучается на 2 году обучения, в 3 семестре.

Освоение курса опирается на знания, умения, навыки и компетенции, сформированные на двух предшествующих уровнях образования в результате освоения курсов общей физики, оптики, акустики, математического анализа, дифференциальных уравнений, колебаний и волн и специальных курсов, относящихся к акустике и лазерной физике.

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

**Таблица 1**

### Планируемые результаты обучения по дисциплине

Код формируемой компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций
ПК-1 (базовый этап)	З1 Знать основные принципы генерации и детектирования оптоакустических сигналов В1 Владеть современными теоретическими и экспериментальными методами исследований оптоакустических полей
ПК-2 (базовый этап)	З1 Знать современное состояние исследований в области оптоакустики У1 Уметь определять наиболее актуальные направления исследований биологически сред оптоакустическими методами

## 3. Структура и содержание дисциплины

Объем дисциплины составляет 3 зачетные единицы, всего 108 часов, из которых 36 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (18 часов – занятия лекционного типа, 18 часов занятия семинарского типа (семинары и научно-практические занятия)), 72 часа составляет самостоятельная работа обучающегося.

**Таблица 2**

### Структура дисциплины

Наименование раздела дисциплины	Всего, часов	В том числе					Самостоятельная работа обучающегося, часов
		Контактная работа, часов					
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Консультации	Всего	

1. Введение в оптоакустику	8	2	2			4	4
2. Распространение света в конденсированных мутных средах	8	2	2			4	4
3. Тепловое возбуждение ультразвуковых колебаний	8	2	2			4	4
4. Регистрация ультразвуковых сигналов	12	3	3			6	6
5. Лазерная оптико-акустическая спектроскопия	8	2	2			4	4
6. Лазерная оптико-акустическая микроскопия	8	2	2			4	4
7. Лазерная оптико-акустическая томография	8	2	2			4	4
8. Оптоакустика в медицине и биологии	12	3	3			6	6
Аттестация по дисциплине (зачет)	36						36
Итого	108	18	18			36	72

**Таблица 3**

### Содержание дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела	Форма проведения занятия	Форма текущего контроля*
1.	Введение в оптоакустику	Исторический обзор. Принципы и методы оптической генерации ультразвука. Импульсная оптоакустика. Лазерно-возбуждаемый ультразвук. Особенности регистрации оптико-акустических сигналов.	Занятия лекционного типа, семинарского типа	Устный опрос
2.	Распространение света в конденсированных мутных средах	Оптические свойства биологических тканей. Оптическое поглощение в биотканях. Основные эндогенные и экзогенные хромофоры. Закон Бугера. Диффузионное приближение. Моделирование распространения света методом Монте-Карло. Распределение интенсивности света в мутной среде. Поглощающий объект в мутной среде.	Занятия лекционного типа, семинарского типа	Устный опрос
3.	Тепловое возбуждение ультразвуковых колебаний	Поэтапный анализ лазерного термооптического возбуждения ультразвука. Короткий лазерный импульс. Временные формы оптико-акустических импульсов. Плоские, цилиндрические и сферические волны.	Занятия лекционного типа, семинарского типа	Устный опрос

		Затухание ультразвуковых волн.		
4.	Регистрация ультразвуковых сигналов	Пьезоэлектрические приемники для широкополосной регистрации ультразвука. Предельная чувствительность широкополосного пьезоприемника на основе пленки из поливинилиденфторида. Другие методы широкополосной регистрации ультразвука.	Занятия лекционного типа, семинарского типа	Устный опрос
5.	Лазерная оптико-акустическая спектроскопия	Количественные оптико-акустические измерения. Независимые измерения коэффициентов оптического поглощения и рассеяния. Оптико-акустические измерения оксигенации крови.	Занятия лекционного типа, семинарского типа	Устный опрос
6.	Лазерная оптико-акустическая микроскопия	Оптико-акустическая визуализация биологических тканей при помощи одноэлементной сферической антенны. Лазерное возбуждение зондирующих ультразвуковых импульсов. Формирование трехмерных изображений. Чувствительность, пространственное разрешение и глубина визуализации лазерной оптико-акустической микроскопии.	Занятия лекционного типа, семинарского типа	Устный опрос
7.	Лазерная оптико-акустическая томография	Оптико-акустическая визуализация биологических тканей при помощи многоэлементных антенн. Двумерная оптоакустическая томография на основе цилиндрической линейки пьезоприемников. Реконструкция оптико-акустических изображений. Чувствительность, пространственное разрешение, глубина визуализации лазерной оптико-акустической томографии.	Занятия лекционного типа, семинарского типа	Устный опрос
8.	Оптоакустика в медицине и биологии	Клинические оптико-акустические сканеры для дерматоскопии, эндоскопии, маммографии. Оптико-акустическая визуализация экспериментальных новообразований. Оптоакустика в	Занятия лекционного типа, семинарского типа	Устный опрос

		нейронауках.	типа	
--	--	--------------	------	--

#### **4. Образовательные технологии**

При изучении курса используются современные образовательные технологии. Предусматривается использование в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения занятий (компьютерное моделирование, разбор конкретных ситуаций, тренинги по решению задач) в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся.

Предусматриваются участие в семинарах с представителями российских и зарубежных научных организаций, мастер-классы экспертов и специалистов в области оптоакустики.

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

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

Типовые контрольные вопросы:

- 1) Характерные пространственно-временные масштабы в оптоакустике.
- 2) Основные условия, необходимые для генерации оптико-акустических сигналов.
- 3) Закон Бугера, характеризующий ослабление светового пучка в поглощающей среде.
- 4) Эффективный коэффициент ослабления света в поглощающей и рассеивающей среде в диффузионном приближении.
- 5) Численное моделирование распространения фотонов с помощью метода Монте-Карло.
- 6) Формула для оптико-акустического преобразования в приближении предельно короткого лазерного импульса.
- 7) Решение волнового уравнения для теплового источника предельно короткой длительности.
- 8) Форма оптико-акустического отклика точечного источника в одномерном, двумерном и трехмерном случае.
- 9) Временные профили оптико-акустических сигналов от протяженных источников.
- 10) Особенности затухания ультразвука в воде и биотканях.
- 11) Принцип работы широкополосного пьезоэлектрического приемника на основе пленки из поливинилиденфторида.

12) Количественные измерения коэффициентов оптического поглощения и рассеяния по форме оптико-акустических импульсов.

13) Методы оптико-акустической спектроскопии для измерения оксигенации крови.

14) Формулы для поперечного и продольного пространственного разрешения оптико-акустического микроскопа.

15) Типы антенн в оптико-акустической визуализации

16) Алгоритм томографической реконструкции оптико-акустических источников.

17) Принцип действия оптико-акустического микроскопа.

18) Основные отличия оптико-акустической микроскопии от томографии

19) Временная селекция оптико-акустических и лазерно-возбужденных ультразвуковых импульсов.

20) Использование методов оптико-акустической визуализации в медицине.

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

### **6.1. Перечень компетенций выпускников образовательной программы с указанием результатов обучения (знаний, умений, владений), характеризующих этапы их формирования**

Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования приведено в приложении 1.

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

Форма аттестации: зачет.

Шкала оценивания: зачет-незачет

Критерии оценивания

Зачтено	Превосходная, отличная, хорошая или удовлетворительная подготовка. Обучаемый не менее чем удовлетворительно отвечает на вопросы программы – минимум и основной вопрос, а также на большинство дополнительных вопросов.
Не зачтено	Обучаемый показывает неудовлетворительное знание основ курса и базовых понятий, допускает значительные ошибки при ответах на большинство дополнительных вопросов. Необходима дополнительная подготовка для успешного прохождения испытания.

### **6.3. Примеры типовых контрольных заданий или иных материалов, необходимых для оценки результатов обучения, характеризующих сформированность компетенций.**

Типовые контрольные вопросы:

1) Характерные пространственно-временные масштабы в лазерной оптоакустике (ПК-1).

2) Формула для оптико-акустического преобразования в приближении предельно короткого лазерного импульса (ПК-1)

3) Форма лазерного оптико-акустического отклика точечного источника в одномерном, двумерном и трехмерном случае (ПК-1).

4) Решение волнового уравнения для пространственно-распределенного теплового источника, создаваемого лазерным импульсом предельно короткой длительности (ПК-1).

5) Принцип действия лазерного оптико-акустического микроскопа (ПК-1).

6) Формулы для поперечного и продольного пространственного разрешения лазерного оптико-акустического микроскопа (ПК-2).

7) Эффективный коэффициент ослабления лазерного излучения в поглощающей и рассеивающей среде в диффузионном приближении (ПК-2).

8) Количественные измерения коэффициентов оптического поглощения и рассеяния по форме оптико-акустических импульсов (ПК-2).

9) Основные отличия оптико-акустической микроскопии от томографии (ПК-2)

10) Временная селекция оптико-акустических и лазерно-возбужденных ультразвуковых импульсов (ПК-2).

11) Основные условия, необходимые для генерации оптико-акустических сигналов (ПК-5).

12) Закон Бугера, характеризующий ослабление светового пучка в поглощающей среде (ПК-5).

13) Временные профили оптико-акустических сигналов от протяженных источников (УК-1).

14) Особенности затухания ультразвука в воде и биотканях (УК-1).

15) Принцип работы широкополосного пьезоэлектрического приемника на основе пленки из поливинилиденфторида (УК-1).

16) Использование методов оптико-акустической визуализации в медицине (УК-1).

17) Типы антенн в оптико-акустической визуализации (УК-1)

18) Численное моделирование распространения фотонов с помощью метода Монте-Карло (ОПК-1).

19) Методы оптико-акустической спектроскопии для измерения оксигенации крови (ОПК-1).

20) Алгоритм томографической реконструкции оптико-акустических источников (ОПК-1).

## **7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)**

а) основная литература:

1. Гусев В.Э., Карабутов А.А. Лазерная оптоакустика. – М., Наука, 1991.

2. Beard P. Biomedical photoacoustic imaging // Interface focus. – 2011. – С. rsfs20110028.

3. Manohar S., Razansky D. Photoacoustics: a historical review // Advances in optics and photonics. – 2016. – Т. 8, № 4. – С. 586-617.

б) дополнительная литература:

1. Subochev P. Cost-effective imaging of optoacoustic pressure, ultrasonic scattering, and optical diffuse reflectance with improved resolution and speed // Optics letters. – 2016. – Т. 41, № 5. – С. 1006-1009.

2. Perekatova V., Subochev P., Kleshnin M., Turchin I. Optimal wavelengths for optoacoustic measurements of blood oxygen saturation in biological tissues // Biomedical optics express. – 2016. – Т. 7, № 10. – С. 3979-3995.

3. Kirillin M., Perekatova V., Turchin I., Subochev P. Fluence compensation in raster-scan optoacoustic angiography // Photoacoustics. – 2018. – Т. 8. – С. 59-67.

### 8. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Аудиторный фонд ННГУ. Оборудование для мультимедийных презентаций, компьютерное оборудование для поиска информации и численного моделирования. Библиотечный фонд ННГУ.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО с учетом рекомендаций ОПОП по направлению подготовки 03.06.01 Физика и астрономия (уровень подготовки кадров высшей квалификации) и направленности 01.04.21 Лазерная физика.

Автор \_\_\_\_\_ Субочев П.В.

Рецензент \_\_\_\_\_ Маругин А.В.

Заведующий кафедрой общей физики \_\_\_\_\_ Бакунов М.И.

Программа одобрена на заседании методической комиссии радиофизического факультета от \_\_\_\_\_ 2021 года, протокол № \_\_\_\_.

Приложение 1

## Карты компетенций, в формировании которых участвует дисциплина

**ПК-1 Способность выполнять научно-исследовательские работы и получать новые научные результаты в области лазерной физики в составе научной группы**

**ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КОМПЕТЕНЦИИ**

Тип КОМПЕТЕНЦИИ: Профессиональная компетенция выпускника программы аспирантуры.

**ПОРОГОВЫЙ (ВХОДНОЙ) УРОВЕНЬ ЗНАНИЙ, УМЕНИЙ, ОПЫТА ДЕЯТЕЛЬНОСТИ, ТРЕБУЕМЫЙ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИИ**

Для того, чтобы формирование данной компетенции было возможно, обучающийся, приступивший к освоению программы аспирантуры, должен:

**ЗНАТЬ:** базовые разделы высшей математики, лазерной физики и акустики.

**УМЕТЬ:** проводить основные математические преобразования, пользоваться основными измерительными приборами.

**ВЛАДЕТЬ:** базовым уровнем английского языка, навыками программирования и использования ресурсов интернета.

Планируемые результаты обучения*(показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения				
	1	2	3	4	5

<b>ЗНАТЬ:</b> Основные концепции современной оптоакустики	Отсутствие знаний	Фрагментарные представления об основных концепциях оптоакустики	Неполные представления об основных концепциях оптоакустики	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы, представления об основных концепциях оптоакустики	Сформированные систематические представления об основных концепциях оптоакустики
<b>УМЕТЬ:</b> Работать на современном оптическом и акустическом оборудовании	Отсутствие умений	Частично освоенное умение работать на современном оптическом и акустическом оборудовании	В целом успешное, но не систематическое умение работать на современном оптическом и акустическом оборудовании	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение работать на современном оптическом и акустическом оборудовании	Успешное и систематическое умение работать на современном оптическом и акустическом оборудовании
<b>ВЛАДЕТЬ:</b> Современными теоретическими и экспериментальными методами исследований	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение современных теоретических и экспериментальных методов исследований	В целом успешное, но не систематическое применение современных теоретических и экспериментальных методов исследований	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение современных теоретических и экспериментальных методов исследований	Успешное и систематическое владение современными теоретическими и экспериментальными методами исследований
<b>ВЛАДЕТЬ:</b> Навыками чтения и восприятия научной литературы на английском языке	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение навыков чтения и восприятия научной литературы на английском языке	В целом успешное, но не систематическое применение навыков чтения и восприятия научной литературы на английском языке	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков чтения и восприятия научной литературы на английском языке	Успешное и систематическое владение навыками чтения и восприятия научной литературы на английском языке

**ПК-2 Способность самостоятельно ставить научные задачи и формулировать новые идеи в области лазерной физики**

**ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КОМПЕТЕНЦИИ**

Тип КОМПЕТЕНЦИИ: Профессиональная компетенция выпускника программы аспирантуры.

**ПОРОГОВЫЙ (ВХОДНОЙ) УРОВЕНЬ ЗНАНИЙ, УМЕНИЙ, ОПЫТА ДЕЯТЕЛЬНОСТИ, ТРЕБУЕМЫЙ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИИ**

Для того, чтобы формирование данной компетенции было возможно, обучающийся, приступивший к освоению программы аспирантуры, должен:

**ЗНАТЬ:** основы оптоакустики.

**УМЕТЬ:** выделять и систематизировать основные идеи в научных текстах.

**ВЛАДЕТЬ:** базовым уровнем английского языка, навыками использования ресурсов интернета.

Планируемые результаты обучения*(показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения				
	1	2	3	4	5
<b>ЗНАТЬ:</b> Современное состояние исследований в области оптоакустики	Отсутствие знаний	Фрагментарные представления о современном состоянии исследований в области оптоакустики	Неполные представления о современном состоянии исследований в области оптоакустики	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы, представления о современном состоянии исследований в области оптоакустики	Сформированные систематические представления о современном состоянии исследований в области оптоакустики

УМЕТЬ: Определять наиболее актуальные направления исследований	Отсутствие умений	Частично освоенное умение определять наиболее актуальные направления исследований	В целом успешное, но не систематическое умение определять наиболее актуальные направления исследований	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение определять наиболее актуальные направления исследований	Успешное и систематическое умение определять наиболее актуальные направления исследований
ВЛАДЕТЬ: Навыками формулирования задач для членов исследовательской группы	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение навыков формулирования задач для членов исследовательской группы	В целом успешное, но не систематическое применение навыков формулирования задач для членов исследовательской группы	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков формулирования задач для членов исследовательской группы	Успешное и систематическое владение навыками формулирования задач для членов исследовательской группы