

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
«Ультразвуковые исследования в биологии и медицине»

Уровень высшего образования

Подготовка научных и научно-педагогических кадров

Научные специальности

1.1.2. Дифференциальные уравнения и математическая физика, 1.1.4. Теория вероятностей и математическая статистика, 1.1.5. Математическая логика, алгебра, теория чисел и дискретная математика, 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела, 1.2.1. Искусственный интеллект и машинное обучение, 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ, 1.3.11. Физика полупроводников, 1.3.19. Лазерная физика, 1.3.4. Радиофизика, 1.3.7. Акустика, 1.3.8. Физика конденсированного состояния, 1.4.1. Неорганическая химия, 1.4.2. Аналитическая химия, 1.4.3. Органическая химия, 1.4.4. Физическая химия, 1.4.7. Высокомолекулярные соединения, 1.4.8. Химия элементоорганических соединений, 1.5.11. Микробиология, 1.5.15. Экология, 1.5.2. Биофизика, 1.5.21. Физиология и биохимия растений, 1.5.5. Физиология человека и животных, 2.2.2. Электронная компонентная база микро и наноэлектроники, квантовых устройств, 3.2.7. Аллергология и иммунология, 5.1.1. Теоретико-исторические правовые науки, 5.1.2. Публично-правовые (государственно-правовые) науки, 5.1.3. Частно-правовые (цивилистические) науки, 5.1.4. Уголовно-правовые науки, 5.1.5. Международно-правовые науки, 5.12.1. Междисциплинарные исследования когнитивных процессов, 5.2.3. Региональная и отраслевая экономика, 5.2.4. Финансы, 5.2.6. Менеджмент, 5.3.7. Возрастная психология, 5.4.2. Экономическая социология, 5.4.4. Социальная структура, социальные институты и процессы, 5.4.6. Социология культуры, 5.4.7. Социология управления, 5.5.2. Политические институты, процессы, технологии, 5.5.4. Международные отношения, глобальные и региональные исследования, 5.6.1. Отечественная история, 5.6.2. Всеобщая история, 5.6.7. История международных отношений и внешней политики, 5.7.1. Онтология и теория познания, 5.8.2. Теория и методика обучения и воспитания, 5.8.7. Методология и технология профессионального образования, 5.9.2. Литературы народов мира, 5.9.5. Русский язык. Языки народов России, 5.9.6. Языки народов зарубежных стран (с указанием конкретного языка или группы языков), 5.9.9. Медиакommunikации и журналистика

Нижний Новгород
2025 год

1. Место и цели дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Ультразвуковые исследования в биологии и медицине» относится к числу факультативных дисциплин образовательного компонента программы аспирантуры и изучается на 2 году обучения в 4 семестре.

Целями освоения дисциплины «Ультразвуковые исследования в биологии и медицине» являются:

- формирование навыков применения физических основ распространения и рассеяния волн на флуктуациях неоднородной непрерывной среды в целях биологии и медицины;
- изучение методов и подходов медицинской акустики (применение ультразвука в медицине).

Освоение курса опирается на знания, умения, навыки и компетенции, сформированные на двух предшествующих уровнях образования в ходе изучения курсов «Общая акустика», «Численное моделирование в акустике и гидродинамике», «Численные методы в биологии и медицине».

В процессе изучения дисциплины студенты должны расширить знания по особенностям применения основных законов распространения акустических волн в неоднородных диссипативных средах. Уметь применять методы получения, обработки и реконструкции акустических изображений; принципы построения, алгоритмы и программы медицинских томографических систем, методы и приборы акустической характеристики биологических сред, а также углубить представление об общих характеристиках диагностических и терапевтических методов, основанных на использовании акустических волн, принципах работы акустических хирургических инструментов.

Знания, полученные в ходе изучения дисциплины «Ультразвуковые исследования в биологии и медицине», могут служить основой для дальнейшего освоения аспирантами курсов по специальности 1.3.7. Акустика, а также необходимы для сдачи кандидатского экзамена по специальности 1.3.7. Акустика.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине

Выпускник, освоивший программу, должен

Знать:

- современное состояние науки в области медицинской акустики и ультразвуковых исследований;
- нормативные документы для составления заявок, грантов, проектов НИР по ультразвуковой диагностики и медицинской акустики;
- методы критического анализа и оценки современных научных достижений, а также методы генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач в области медицинской акустики и ультразвуковых исследований.

Уметь:

- определять наиболее актуальные направления исследований по тематике исследований;
- представлять результаты НИР (в т.ч., диссертационной работы) академическому и бизнес-сообществу в области медицинской акустики и ультразвуковых исследований.

Владеть:

- навыками самостоятельной постановки, критического переосмысления и решения новых задач в области медицинской акустики и ультразвуковой диагностики; 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 18 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (занятия лекционного типа - 18 часов), 54 часа составляет самостоятельная работа обучающегося.

Таблица 1

Структура дисциплины

| Наименование раздела дисциплины | Всего, часов | В том числе | | | | | |
|---|--------------|--------------------------|---------------------------|----------------------------|--------------|-----------|--|
| | | Контактная работа, часов | | | | | Самостоятельная работа обучающегося, часов |
| | | Занятия лекционного типа | Занятия семинарского типа | Занятия лабораторного типа | Консультации | Всего | |
| Введение | 11 | 2 | | | | 2 | 9 |
| Физические основы применения акустических волн в биологии и медицине | 11 | 2 | | | | 2 | 9 |
| Биофизика ультразвуковых эффектов | 11 | 2 | | | | 2 | 9 |
| Ультразвуковая визуализация в медицине (физические принципы и аппаратура) | 13 | 4 | | | | 4 | 9 |
| Эластография: физические основы и использование в ультразвуковой диагностики | 13 | 4 | | | | 4 | 9 |
| Практическое применение ультразвука в медицине (диагностика, терапия, хирургия) | 13 | 4 | | | | 4 | 9 |
| Промежуточная аттестация: – зачет | | | | | | | |
| Итого | 72 | 18 | | | | 18 | 54 |

Таблица 2

Содержание дисциплины

| № п/п | Наименование раздела дисциплины | Содержание раздела | Форма проведения занятия | Форма текущего контроля |
|-------|--|--|--------------------------|--|
| 1 | Физические основы применения акустических волн в биологии и медицине | Краткая сводка свойств акустических волн, основные понятия и представления. Интеграл Рэлея как основа расчета полей ультразвуковых излучателей. Роль нелинейных акустических эффектов для ультразвуковых полей, применяемых в медицине. Источники ультразвука, | Лекции, сам.раб. | Групповые консультации, устный опрос по вопросам из пункта 5.2 |

| | | | | |
|---|---|---|------------------|--|
| | | <p>применяемые в медицине. Круглый и прямоугольный поршневые излучатели. Ближнее и дальнее поля. Фокусирующие преобразователи. Пьезоэлектрические преобразователи, применяемые в медицине (пьезокерамические, пленочные, пьезокомпозитные, и другие).</p> <p>Поглощение и рассеяние ультразвука в биологических тканях. Скорость звука в биологических тканях. Отражение волн на границах раздела сред. Отражение ультразвука от границ раздела различных видов биологической ткани.</p> | | |
| 2 | Биофизика ультразвуковых эффектов | <p>Акустические свойства биологической ткани. Основные виды биологических тканей и их акустические свойства. Вязкоупругие свойства квазитвердых тел. Поглощение ультразвука в ткани. Рассеяние ультразвука в различных биологических тканях. Сечения взаимодействия акустической волны с тканью. Методы измерений и количественные значения скорости звука и коэффициентов поглощения и рассеяния в различных видах тканей. Ультразвуковые частоты, используемые в медицинском ультразвуке, их выбор. Тепловые эффекты, вызываемые ультразвуком. Ультразвук при лечении рака. Кавитация как причина повреждения биологической ткани. Виды кавитации. Пороги кавитации. Ударноволновое разрушение почечных и желчных камней. Механизмы разрушения.</p> | Лекции, сам.раб. | Групповые консультации, устный опрос по вопросам из пункта 5.2 |
| 3 | Ультразвуковая визуализация в медицине (физические принципы и аппаратура) | <p>Принципы ультразвуковой визуализации. Сравнительный анализ рентгеновского и ультразвукового методов визуализации. Акустическая визуализация в режиме А. Ультразвуковая визуализация в режиме В. Механические и электронные В-сканеры. Ультразвуковая визуализация в режиме М. Ультразвуковая визуализация в режиме С.</p> | Лекции, сам.раб. | Групповые консультации, устный опрос по вопросам из пункта 5.2 |

| | | | | |
|---|--|--|-------------------------|---|
| | | <p>Доплерография и доплеровские шумы.</p> <p>Принципы доплеровского измерения скорости кровотока.</p> <p>Доплеровский прибор непрерывного излучения.</p> <p>Импульсно-доплеровский измеритель скорости кровотока.</p> <p>Основы получения, обработки и реконструкции акустических изображений; принципы построения, алгоритмы и программы медицинских томографических систем; измерение и отображение потоков крови. Дифракционная томография. Акустическая голография. Акустическая микроскопия.</p> | | |
| 4 | <p>Эластография: физические основы и использование в ультразвуковой диагностики</p> | <p>Тепловое воздействие ультразвука. Применения в терапии и хирургии. Устройство и использование акустических терапевтических приборов.</p> <p>Хирургия с помощью фокусированного ультразвука.</p> <p>Кавитация, вызываемая ультразвуком. Пороги кавитации.</p> <p>Применение ультразвука в стоматологии.</p> <p>Ударноволновые источники: электромагнитные, электроразрядные, пьезоэлектрические, лазерные.</p> <p>Принцип экстракорпоральной литотрипсии. Устройство и параметры современных литотриптеров.</p> | <p>Лекции, сам.раб.</p> | <p>Групповые консультации, устный опрос по вопросам из пункта 5.2</p> |
| 5 | <p>Практическое применение ультразвука в медицине (диагностика, терапия, хирургия)</p> | <p>Краткая сводка свойств акустических волн, основные понятия и представления.</p> <p>Интеграл Рэлея как основа расчета полей ультразвуковых излучателей. Роль нелинейных акустических эффектов для ультразвуковых полей, применяемых в медицине.</p> <p>Источники ультразвука, применяемые в медицине.</p> <p>Круглый и прямоугольный поршневые излучатели. Ближнее и дальнее поля. Фокусирующие преобразователи.</p> <p>Пьезоэлектрические преобразователи, применяемые в медицине (пьезокерамические, пленочные, пьезокомпозитные, и другие).</p> <p>Поглощение и рассеяние</p> | <p>Лекции, сам.раб.</p> | <p>Групповые консультации, устный опрос по вопросам из пункта 5.2</p> |

| | | | | |
|--|--|--|--|--|
| | | ультразвука в биологических тканях. Скорость звука в биологических тканях. Отражение волн на границах раздела сред. Отражение ультразвука от границ раздела различных видов биологической ткани. | | |
|--|--|--|--|--|

4. Формы организации и контроля самостоятельной работы обучающихся

Используются виды самостоятельной работы аспиранта: в читальном зале библиотеки, в учебных кабинетах (лабораториях), компьютерных классах, с доступом к ресурсам Интернет и в домашних условиях. Порядок выполнения самостоятельной работы соответствует программе курса и контролируется в ходе проведения лекционных занятий, групповых консультаций и в конце курса при проведении зачета по данной дисциплине. Самостоятельная работа подкрепляется учебно-методическим и информационным обеспечением, включающим рекомендованные учебники и учебно-методические пособия, а также конспекты лекций.

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.

Описание шкалы оценивания на промежуточной аттестации в форме зачета

| Оценка | Уровень подготовленности, характеризуемый оценкой |
|-------------------|--|
| <i>Зачтено</i> | владение программным материалом, понимание сущности рассматриваемых процессов и явлений, умение самостоятельно обозначить проблемные ситуации в организации научных исследований, способность критически анализировать и сравнивать существующие подходы и методы к оценке результативности научной деятельности, свободное владение источниками, умение четко и ясно излагать результаты собственной работы, следовать нормам, принятым в научных дискуссиях. |
| <i>Не зачтено</i> | непонимание смысла ключевых проблем, недостаточное владение науковедческой терминологией, неумение самостоятельно обозначить проблемные ситуации, неспособность анализировать и сравнивать существующие концепции, подходы и методы, неумение ясно излагать |

| | |
|--|---|
| | результаты собственной работы, следовать нормам, принятым в научных дискуссиях. |
|--|---|

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

Список типовых контрольных вопросов:

1. Применение ультразвука в биологии
2. Физические характеристики биологических тканей и сосудов.
3. Биологическое действие ультразвука.
4. Физические механизмы взаимодействия ультразвука с биологическими системами.
5. Ультразвуковая диагностика в медицине.
6. Применение ультразвука в терапии.
7. Устройство и использование акустических терапевтических приборов
8. Применение ультразвука в хирургии.
9. Хирургия с помощью фокусированного ультразвука.
10. Принципы и методы литотрипсии.
11. Применение ультразвука в стоматологии.
12. Физические основы эффекта Доплера. Доплерография и доплеровские шумы.
13. Основные методы получения информации с применением ультразвука.
14. Ультразвуковая визуализация в медицине (физические принципы и аппаратура)
15. Регистрация отраженного ультразвукового сигнала: А-режим, В-режим, М-режим.
16. Формирование 2-D изображения; формирования 3-D изображения.

Список типовых контрольных заданий:

1. Ультразвуковые волны. Акустический сигнал и его спектр.
2. Акустика жидкостей и газов. Система акустических уравнений и ее линеаризация. Лапласова и Ньютонова скорости звука. Волновое уравнение. Плоские волны.
3. Дисперсия звуковых волн. Пространственный и частотный спектр.
4. Акустическое сопротивление, его влияние на отражение ультразвука.
5. Затухание ультразвука в биологических тканях
6. Энергия и импульс звуковых волн. Сферические волны.
7. Рассеяние звука на различных неоднородностях среды. Поглощение звука.
8. Нелинейные эффекты в жидких средах. Радиационное давление.
9. Пьезоэлектрические, магнитострикционные, электродинамические излучатели.
10. Управление ультразвуковым излучением: фокусировка и сканирование ультразвукового пучка. Ультразвуковые линзы, рефлекторы, концентраторы. Фокусировка и сканирование ультразвукового пучка. Приемники и индикаторы ультразвуковых волн.
11. Классификация ультразвуковых приборов. Основные режимы работы: режим В (2D), режим А и режим М.

12. Ультразвуковые преобразователи. Типы датчиков. Способы сканирования. Формирование УЗ луча, передача, прием и обработка сигналов. Фокусировка УЗ луча.
13. Биологические эффекты ультразвука.
14. Ультразвуковая голография, томография.
15. Ультразвуковая терапия и хирургия.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины.

а) основная литература:

1. Ультразвук в медицине. Физические основы применения (Под ред. Хилла К.): Пер. с англ. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. - 544 с.
2. Акопян Б.В., Ершов Ю.А. Основы взаимодействия ультразвука с биологическими объектами: Ультразвук в медицине, ветеринарии и экспериментальной биологии. – М.: Изд. МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2005. - 224 с.
3. Гурбатов С.Н., Руденко О.В., Саичев А.И. Волны и структуры в нелинейных средах без дисперсии: приложения к нелинейной акустике. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. - 496 с.
4. Гаврилов Л.Р. Фокусированный ультразвук высокой интенсивности в медицине. – М.: Фазис, 2013. – 656с.

б) дополнительная литература:

1. Эластография сдвиговых характеристик мягких биологических тканей: Составители: Демин И.Ю., Прончатов-Рубцов Н.В. Учебно-методические материалы для магистрантов и аспирантов Исследовательской школы «Колебательно-волновые процессы в природных и искусственных средах». – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2014. – 114 с. (электронное издание ННГУ)
2. Клемина А.В., Демин И.Ю., Прончатов-Рубцов Н.В. Медицинская акустика: ультразвуковая диагностика медико-биологических сред. Учебно-методическое пособие. - Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2011. – 124 с. (электронное издание ННГУ)
3. Руденко О.В., Сафонов Д.В., Демин И.Ю., Рыхтик П.И., Андреев В.Г., Гурбатов С.Н., Романов С.В. Эластография сдвиговой волны: анализ клинических примеров (под. ред. А.В. Борсукова). Глава 1. Основы эластографии сдвиговой волной: теория и физический эксперимент. Смоленск: Смоленская городская типография, 8-41.. 2017.
4. Бэйли М.Р., Хохлова В.А., Сапожников О.А., Каргл С.Г., Крам Л.А. Физические механизмы воздействия терапевтического ультразвука на биологическую ткань. (Обзор) // Акустический журнал. 2003. Т.49. № 4. С. 437-464.

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, Microsoft Office;
 - 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: доцент, к.ф.-м.н. Демин И.Ю.

Рецензент: доцент, к.ф.-м.н. Жуков С.Н.

Заведующий кафедрой: профессор, д.ф.-м.н. Гурбатов С.Н.

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