

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

Институт информационных технологий, математики и механики

УТВЕРЖДЕНО
решением Ученого совета ННГУ
протокол № 15 от 24.12.2025 г.

Рабочая программа дисциплины

Численные методы в биофотонике

Уровень высшего образования
Бакалавриат

Направление подготовки / специальность
01.03.02 - Прикладная математика и информатика

Направленность образовательной программы
Математическое моделирование и искусственный интеллект

Форма обучения
очная

г. Нижний Новгород

2026 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.ДВ.11.05 Численные методы в биофотонике 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-4: Способен применять методы математического и компьютерного исследования при анализе задач на основе знаний фундаментальных математических и компьютерных наук	<p>ПК-4.1: Знает фундаментальные и теоретические основы, необходимые для исследования научных проблем</p> <p>ПК-4.2: Умеет самостоятельно применять полученные знания для анализа объекта исследования, определять цели и задачи исследования, а также выбирать корректный метод исследования научной проблемы</p> <p>ПК-4.3: Имеет практический опыт научно-исследовательской деятельности, а именно решения научных задач в соответствии с поставленной целью и выбранной методикой</p>	<p>ПК-4.1: Знает современное состояние исследований в области биофотоники, принципы методов оптической биомедицинской диагностики, и подходы к решению основных классов задач.</p> <p>ПК-4.2: Уметь строить и анализировать математические модели, описывающие распространения излучения в оптически неоднородных средах, создавать расчетные модели.</p> <p>Умеет использовать разработанные модели для решения конкретных прикладных задач, осуществлять визуализацию и анализ полученных результатов и сопоставление их с результатами других исследователей</p> <p>ПК-4.3: Имеет практический опыт программной реализации численных методов и создания компьютерных моделей распространения света в сильно рассеивающих средах.</p>	Практическое задание	Зачёт: Контрольные вопросы

--	--	--	--	--

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	24
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	12
- КСР	1
самостоятельная работа	35
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	
Введение в биофотонику.	10	4	2	6	4
Оптические методы в ряду методов диагностики.	10	4	2	6	4
Методы измерения и вычисления оптических характеристик биотканей.	21	4	2	6	15
Методы описания распространения оптического излучения в неоднородных средах.	10	4	2	6	4
Оптическая когерентная томография.	10	4	2	6	4
Методы диффузионной томографии.	10	4	2	6	4
Аттестация	0				
КСР	1			1	
Итого	72	24	12	37	35

Содержание разделов и тем дисциплины

Введение в биофотонику.

Корпускулярно-волновой дуализм света. Виды взаимодействия оптического излучения с биологическими средами. Оптическая биомедицинская диагностика. Лазерная терапия. Лазерная хирургия.

1. Оптические методы в ряду методов диагностики. Сравнение методов оптической диагностики с традиционными. Природа рассеяния света в биологических тканях. Уравнения Максвелла. Характеристики излучения. Интерференция. Основные оптические характеристики биотканей.
2. Методы измерения и вычисления оптических характеристик биотканей. Экспериментальное измерение фазовой функции рассеяния. Типы рассеяния в биотканях. Рэлеевское рассеяние. Рассеяние Ми. Фазовые функции сферических рассеивателей. Геометрический предел. Фазовая функция единичной клетки. Эффективная фазовая функция ансамбля рассеивателей. Фазовая функция Хенши-Гринштейна. Фактор анизотропии. Оптические характеристики ансамбля рассеивателей. Измерение оптических характеристик. Интегрирующая сфера.
3. Методы описания распространения оптического излучения в неоднородных средах. Приближение однократного рассеяния. Поточные модели. Метод «добавления-удвоения». Диффузионное приближение. Метод Монте-Карло.
4. Оптическая когерентная томография. Низкая когерентность. Принципиальная схема ОКТ-системы. Теоретическое описание ОКТ-сигнала. Преимущества и недостатки ОКТ. Области применения ОКТ в медицине. Численные методы в ОКТ. Монте-Карло моделирование сигналов ОКТ. Классификация фотонов. Управление оптическими свойствами сред с помощью наночастиц. Контрастирующий эффект. Обработка ОКТ-изображений. Сегментация. Анализ статистики спеклов.
5. Методы диффузионной томографии. Оптическая диффузионная томография. Диффузионная флуоресцентная томография. Общая постановка задачи диффузионной томографии. Прямая задача. Обратная задача. Области применения методов диффузионной томографии.

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.

- Программный комплекс MieTab (<http://amiller.nmsu.edu/mtdnload.html>)
- Интернет-ресурс Mie Calculator (http://omlc.org/calc/mie_calc.html)
- Интернет-ресурс Refractive index database (<http://refractiveindex.info/>)

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 - Практическое задание) для оценки сформированности компетенции ПК-4:

Практическое задание 1

Разработать приложение, генерирующее случайные начальные координаты фотона в осесимметричном пучке, радиальное распределение интенсивности которого описывается следующей функцией:

$$p(r) = \text{const} \\ r \in [a_1, a_2]$$

Входные параметры приложения: количество фотонов N , внутренний и внешний радиусы пучка a_1 и a_2

Выходные параметры:

- распределение N случайных положений фотона в плоскости XU начала пучка,
- осевое сечение плотности распределения точек в сравнении с аналитической кривой.

Практическое задание 2

Разработать приложение, генерирующее случайные начальные координаты фотона в осесимметричном пучке, радиальное распределение интенсивности которого описывается следующей функцией:

$$p(r) = \frac{1}{ar} \\ r \in [0, a]$$

Входные параметры приложения: количество фотонов N , радиус пучка a

Выходные параметры:

- распределение N случайных положений фотона в плоскости XU начала пучка,
- осевое сечение плотности распределения точек в сравнении с аналитической кривой.

Критерии оценивания (оценочное средство - Практическое задание)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Все этапы решения задания выполнены в полном объеме, возможно, с незначительными недоработками.
не зачтено	Практическое задание не выполнено

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	Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельными и несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	Продемонстрированы 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	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрирован 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-4

1. Предмет биофотоники. Виды взаимодействия оптического излучения с биологическими средами.
2. Природа рассеяния света в биологических тканях.
3. Уравнения Максвелла. Характеристики излучения. Интерференция.
4. Основные оптические характеристики биотканей.
5. Типы рассеяния в биотканях. Рэлеевское рассеяние. Рассеяние Ми. Геометрический предел.
6. Измерение оптических характеристик. Интегрирующая сфера.
7. Приближение однократного рассеяния.
8. Поточковые модели.
9. Метод «добавления-удвоения».
10. Диффузионное приближение.
11. Метод Монте-Карло.
12. Оптическая когерентная томография. Принцип работы.
13. Теоретическое описание ОКТ-сигнала.
14. Преимущества и недостатки ОКТ.
15. Области применения ОКТ в медицине.
16. Монте-Карло моделирование сигналов ОКТ. Классификация фотонов.
17. Управление оптическими свойствами сред с помощью наночастиц. Контрастирующий эффект.
18. Обработка ОКТ-изображений. Сегментация. Анализ статистики спеклов.
19. Оптическая диффузионная томография.
20. Диффузионная флуоресцентная томография.
21. Общая постановка задачи диффузионной томографии. Прямая задача. Обратная задача.
22. Области применения методов диффузионной томографии.

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Студент ответил на большую часть вопросов возможно с незначительными недочетами.
не зачтено	При ответе студент допускает грубые ошибки в основном материале и решении стандартных задач.

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

Основная литература:

1. Тучин Валерий Викторович. Лазеры и волоконная оптика в биомедицинских исследованиях. - Изд. 2-е, испр. и доп. - М. : Физматлит : Изд-во Сарат. ун-та, 2010. - 488 с. - ISBN 978-5-9221-1278-9 : 320.00., 1 экз.

Дополнительная литература:

1. Буре Владимир Мансурович. Теория вероятностей и математическая статистика : учеб. для студентов вузов, обучающихся по направлениям ВПО 010400 - "Прикладная математика и информатика" и 010300 - "Фундам. информатика и информац. технологии". - СПб. ; М. ; Краснодар : Лань, 2013. - 416 с. : ил. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - ISBN 978-5-8114-1508-3 : 400.00., 2 экз.

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

Программный комплекс MieTab (<http://amiller.nmsu.edu/mtdnload.html>) (в свободном доступе). лицензия GNU General Public License version 2.0 (GPLv2)

- Интернет-ресурс Mie Calculator (http://omlc.org/calc/mie_calc.html)
- Интернет-ресурс Refractive index database (<http://refractiveindex.info/>)

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

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

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 ОС ННГУ по направлению подготовки/специальности 01.03.02 - Прикладная математика и информатика.

Автор(ы): Кириллин Михаил Юрьевич, кандидат физико-математических наук.

Рецензент(ы): д.т.н., профессор НГТУ им. Р.Е. Алексеева Ломакина Л.С..

Заведующий кафедрой: Иванченко Михаил Васильевич, доктор физико-математических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 17.12.2025, протокол № №6.