

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  
(факультет / институт / филиал)

---

УТВЕРЖДЕНО  
президиумом Ученого совета ННГУ  
протокол от  
«14» декабря 2021 г. № 4

**Рабочая программа дисциплины**

**Численные методы в биофотонике**  
(наименование дисциплины (модуля))

---

Уровень высшего образования  
**бакалавриат**  
(бакалавриат / магистратура / специалитет)

---

Направление подготовки / специальность  
**01.03.02 Прикладная математика и информатика**  
(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

---

Направленность образовательной программы  
**Прикладная математика и информатика (общий профиль)**  
(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

---

Форма обучения  
**очная**  
(очная / очно-заочная / заочная)

---

Нижний Новгород

2022 год

## 1. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина относится к части, формируемой участниками образовательных отношений.

Б1.В.ДВ.11.05 «Численные методы в биофотонике»

№ варианта	Место дисциплины в учебном плане образовательной программы	Стандартный текст для автоматического заполнения в конструкторе РПД
2	Блок 1. Дисциплины (модули) Часть, формируемая участниками образовательных отношений	Дисциплина Б1.В.ДВ.11.05 «Численные методы биофотонике» относится к части ООП направления подготовки 01.03.02 «Прикладная математика и информатика», формируемой участниками образовательных отношений.

## 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**	
ПК-4. Способен применять методы математического и компьютерного исследования при анализе задач на основе знаний фундаментальных математических и компьютерных наук	ПК-4.1. Знает фундаментальные и теоретические основы, необходимые для исследования научных проблем	<i>Знает современное состояние исследований в области биофотоники, принципы методов оптической биомедицинской диагностики, и подходы к решению основных классов задач.</i>	Собеседование
	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	<i>Уметь строить и анализировать математические модели, описывающие распространения излучения в оптически неоднородных средах, создавать расчетные модели.</i>  <i>Умеет использовать разработанные модели для решения конкретных прикладных задач, осуществлять визуализацию и анализ полученных результатов и сопоставление их с результатами других исследователей.</i>	Практическое задание

	ПК-4.3. Имеет практический опыт научно-исследовательской деятельности, а именно решения научных задач в соответствии с поставленной целью и выбранной методикой	<i>Имеет практический опыт программной реализации численных методов и создания компьютерных моделей распространения света в сильно рассеивающих средах.</i>	Практическое задание
--	---	---	----------------------

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1. Трудоемкость дисциплины

	Очная форма обучения
<b>Общая трудоемкость</b>	<b>2 ЗЕТ</b>
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>72</b>
<b>в том числе</b>	
<b>аудиторные занятия (контактная работа):</b>	<b>43</b>
- занятия лекционного типа	28
- занятия семинарского типа	14
- текущий контроль (КСР)	1
<b>самостоятельная работа</b>	<b>29</b>
<b>Промежуточная аттестация –зачет</b>	

#### 3.2. Содержание дисциплины

Наименование и краткое содержание 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	Занятия лабораторного типа	Всего	
<b>Введение в биофотонику.</b> Корпускулярно-волновой дуализм света. Виды взаимодействия оптического излучения с биологическими средами. Оптическая биомедицинская диагностика. Лазерная терапия. Лазерная хирургия.	10	4	2		6	4
<b>1. Оптические методы в ряду методов диагностики.</b> Сравнение методов оптической диагностики с традиционными. Природа рассеяния света в биологических тканях. Уравнения Максвелла. Характеристики излучения. Интерференция. Основные оптические характеристики биотканей.	10	4	2		6	4

<b>2. Методы измерения и вычисления оптических характеристик биотканей.</b> 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 Хеньи-Гринштейна. Фактор анизотропии. Оптические характеристики ансамбля рассеивателей. Измерение оптических характеристик. Интегрирующая сфера.	21	8	4		12	9
<b>3. Методы описания распространения оптического излучения в неоднородных средах.</b> Приближение однократного рассеяния. Потокосовые модели. Метод «добавления-удвоения». Диффузионное приближение. Метод Монте-Карло.	10	4	2		6	4
<b>4. Оптическая когерентная томография.</b> 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.	10	4	2		6	4
<b>5. Методы диффузионной томографии.</b> Оптическая диффузионная томография. Диффузионная флуоресцентная томография. Общая постановка задачи диффузионной томографии. Прямая задача. Обратная задача. Области применения методов диффузионной томографии.	10	4	2		6	4
<b>Текущий контроль (КСР)</b>	1				1	
<b>Промежуточная аттестация –зачет</b>						
<b>Итого</b>	72	28	14		43	29

Текущий контроль успеваемости реализуется в формах опросов на занятиях семинарского типа.

Промежуточная аттестация проходит в традиционной форме (зачет).

### **Практические занятия**

Практические занятия предназначены для закрепления теоретического материала и получения навыков решения как практических задач из области биофотоники, так и задач по построению моделей распространения излучения в рассеивающих средах.

#### **4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся**

##### **а. Виды самостоятельной работы студентов**

Самостоятельная работа студента заключается в ознакомлении с теоретическим материалом по учебникам, указанным в списке литературы, решении практических заданий, подготовке ответов на вопросы самоконтроля.

Самостоятельная работа под контролем преподавателя направлена на активизацию познавательной деятельности студента и установление «обратной связи» между студентом и преподавателем.

Самостоятельная работа студентов включает:

1. Ознакомление с онлайн-базами показателей преломления различных материалов [refractiveindex.info](http://refractiveindex.info)
2. Ознакомление с программными реализациями решения задачи теории Ми: MieTab, Mie Calculator
3. Оформление отчета о проделанной работе в виде, близком к формату научного сообщения.

## в. Образовательные материалы для самостоятельной работы студентов

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

**5. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю), включающий:**

### 5.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	Шкала оценивания сформированности 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, без ошибок.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения.  Имели место грубые	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном	Продemonстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественным	Продemonстрированы все основные умения, решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном

	обучающего от ответа	ошибки.	все задания, но не в полном объеме.	задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	объеме, но некоторые с недочетами.	недочетами, выполнены все задания в полном объеме.	объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие владения материалом. 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 оценки при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	Превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно»
	Отлично	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»
	Очень хорошо	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»
	Хорошо	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»
	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», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»
	Плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

Практические задания оцениваются как «выполнено (1-0,5 балла)» или «не выполнено 0 баллов». В случае неправильного выполнения ПЗ студент должен его переделать и заново сдать преподавателю. Положительным результатом освоения компетенций дисциплины является правильное выполнение всех практических заданий.

Оценки по практическим заданиям и устному опросу учитываются при выставлении зачета.

### Критерии оценок за выполнение практического задания (каждое задание оценивается в 1 балл)

Практическое задание выполнено в	1	Превосходно	Зачтено
----------------------------------	---	-------------	---------

полном объеме, отчет правильно и аккуратно оформлен		Отлично	
Практическое задание выполнен в полном объеме, но отчет не аккуратно оформлен	0,75	Очень хорошо	
		Хорошо	
Практическое задание выполнено в полном объеме, но не достаточно самостоятельно, отчет оформлен	0,5	Удовлетворительно	
Практическое задание не выполнено	0	Неудовлетворительно	Не зачтено

## 5.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения

### 5.2.1 Контрольные вопросы для собеседования

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

## 5.2.2. Типовые практические задания для оценки сформированности компетенции ПК-4

### Практическое задание 1

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

$$p(r) = \text{const}$$

$$r \in [a_1, a_2]$$

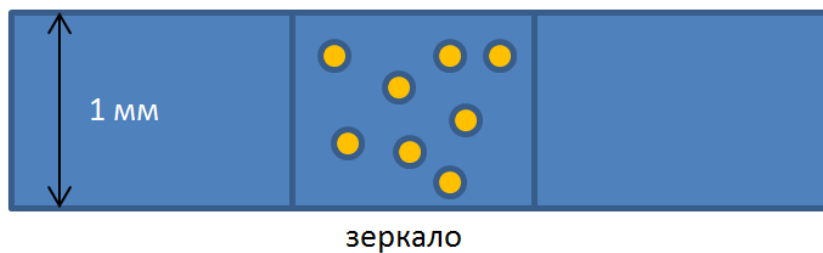
Входные параметры приложения: количество фотонов  $N$ , внутренний и внешний радиусы пучка  $a_1$  и  $a_2$

Выходные параметры:

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

### Практическое задание 2

Рассчитать концентрацию сферических наночастиц золота (Au) диаметром 100 нм, необходимую для получения 3хкратной разницы ОКТ-сигнала на глубине зеркала для биоткани мозга мыши (принять  $n=1.33$ ) для ОКТ-системы с центральной длиной волны 900 нм. Принять коэффициент отражения зеркала  $R=1$ . Рассчитать значения соответствующих регистрируемых сигналов в дБ.



Справочник по показателям преломления: [refractiveindex.info](http://refractiveindex.info)

Пакеты для решения с помощью теории Ми: MieTab, Mie Calculator

## 6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

основная литература:

1. Тучин, В.В. Оптическая биомедицинская диагностика, Том 1. [Электронный ресурс] — Электрон. дан. — М.: Физматлит, 2006. — 560 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/2387#authors>
2. Тучин, В.В. Оптическая биомедицинская диагностика, Том 2. [Электронный ресурс] — Электрон. дан. — М.: Физматлит, 2007. — 368 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/2388#authors>
3. Тучин, В.В. Лазеры и волоконная оптика в биомедицинских исследованиях. [Электронный ресурс] — Электрон. дан. — М.: Физматлит, 2010. — 499 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/2350#authors>

б) дополнительная литература

1. Буре, В.М. Теория вероятностей и математическая статистика. [Электронный ресурс] /



В.М. Буре, Е.М. Парилина. — Электрон. дан. — СПб.: Лань, 2013. — 416 с. Режим доступа: [https://e.lanbook.com/book/10249?category\\_pk=913#book\\_name](https://e.lanbook.com/book/10249?category_pk=913#book_name)

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

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

## **7. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Помещения представляют собой учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных программой, оснащенные оборудованием и 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 ННГУ.

Компьютеры с установленным лицензионным и свободно распространяемым ПО и доступом к требуемым интернет-ресурсам:

- операционная система семейства Microsoft Windows, – лицензия по подписке Microsoft Imagine;
- программный комплекс MieTab, бесплатное ПО – свободная лицензии GNU: <http://amiller.nmsu.edu/mtdnload.html>;
- Интернет-ресурс Mie Calculator, URL: [http://omlc.org/calc/mie\\_calc.html](http://omlc.org/calc/mie_calc.html) – доступ свободный;
- Интернет-ресурс Refractive index database, URL: <http://refractiveindex.info/> – доступ свободный.

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ННГУ 01.03.02 Прикладная математика и информатика.

Автор: к.ф.-м.н., доцент кафедры ПМ Кириллин М.Ю.

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

Заведующий кафедрой прикладной математики: д.ф.-м.н. Иванченко М.В.

Программа одобрена на заседании методической комиссии института информационных технологий, математики и механики

от 1 декабря 2021 года, протокол № 2.