

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**

Моделирование нейрон-глиальных сетей мозга

---

Уровень высшего образования

Магистратура

---

Направление подготовки / специальность

03.04.03 - Радиофизика

---

Направленность образовательной программы

Нелинейные колебания и волны

---

Форма обучения

очная

---

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

## 1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.ДВ.04.01 Моделирование нейрон-глиальных сетей мозга 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 физики и радиофизики при решении задач своей профессиональной деятельности	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 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	ПК-1.1: Знает основные понятия, необходимые для построения нейрон-глиальных моделей сетей  ПК-1.2: Умеет применять теоретические знания и основные методы нелинейной динамики для исследования математических моделей в нейробиологии, а также анализировать и представлять полученные данные	Задачи Тест	Экзамен: Контрольные вопросы Задания
ПК-2: Способен выполнять теоретические и экспериментальные исследования и разработки по отдельным разделам тем научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области физики и радиофизики и оформлять их результаты	ПК-2.1: Анализирует современное состояние исследований в области физики и радиофизики, современные подходы к описанию и моделированию различных физических явлений и оценке полученных результатов ПК-2.2: Выбирает и применяет аналитические, аналитико-численные, экспериментальные методы исследования в соответствии с типом поставленной задачи ПК-2.3: Участвует в	ПК-2.1: Знает современные методы моделирования и исследования нейрон-глиальных сетей мозга  ПК-2.2: Владеет навыками анализа ДС с помощью аналитических и численных методов.  ПК-2.3: Умеет ставить задачу, планировать и выполнять исследования при решении конкретных задач с использованием современной вычислительных средств,	Тест	Экзамен: Контрольные вопросы

	планировании, подготовке и проведении НИР ПК-2.4: Анализирует полученные данные, формулирует выводы и рекомендации по отдельным разделам тем в области физики и радиофизики	компьютерных технологий  ПК-2.4: Владеет навыками использования современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий		
ПК-3: Способен разрабатывать и подготавливать составные части документации, проектов планов и программ проведения отдельных этапов научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок	ПК-3.1: Использует знание нормативных документов для составления заявок, грантов, проектов НИР, применяет заданные требования и правила при оформлении рукописей к публикации в рецензируемых научных изданиях ПК-3.2: Представляет результаты НИР академическому и бизнес-сообществу ПК-3.3: Участвует в составлении и подаче конкурсных заявок на выполнение научно-исследовательских и проектных работ по направленности Радиофизика	ПК-3.1: Знает основные требования к составлению и оформлению научно-технической документации, научных отчетов, обзоров, докладов и статей  ПК-3.2: Умеет составлять и оформлять обзоры, доклады и статьи  ПК-3.3: Владеет навыками составления и оформления научно-технической документации, научных отчетов, обзоров, докладов и статей	Тест	Экзамен: Контрольные вопросы

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1 Трудоемкость дисциплины

	<b>очная</b>
<b>Общая трудоемкость, з.е.</b>	<b>3</b>
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>108</b>
в том числе	
<b>аудиторные занятия (контактная работа):</b>	
- занятия лекционного типа	32
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	0
- КСР	2
<b>самостоятельная работа</b>	<b>29</b>
<b>Промежуточная аттестация</b>	<b>45</b>
	<b>Экзамен</b>

### 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
1 Введение. Современные подходы к моделированию нейронных систем мозга. Вычислительная нейронаука	5	2		2	3
2. Модель Ходжкина-Хаксли. Потенциал покоя. Формализм воротных частиц и воротных переменных. Потенциал действия	7	4		4	3
3. Упрощенные модели нейронов. Редукция уравнений Ходжкина-Хаксли. $I_{Na,t}$ , $I_{Na,p}+I_K$ модели	8	4		4	4
4. Модель Фитц-Нагумо. Классы возбудимости динамических систем, пороговые множества и пороговое многообразие.	5	2		2	3
5. Отклик нейрона на импульсный внешний сигнал. Нейрон-интегратор	7	4		4	3
6. Резонансные свойства нейронов. Динамическое преобразование импульсных последовательностей	7	4		4	3
7. Синаптические связи. Гэп-контакт. Модели химических синапсов. Синаптическая пластичность. Кратковременная частотно-зависимая пластичность. Модели STDP пластичности	8	4		4	4
8. Нейронные сети. Архитектура синаптических связей. Синхронизация в сетях электрически связанных нейронов	7	4		4	3
9. Нейронные сети возбуждающих и тормозных нейронов с локальными и нелокальными связями. Корреляционный граф	7	4		4	3
Аттестация	45				
КСР	2			2	
Итого	108	32	0	34	29

#### Содержание разделов и тем дисциплины

- 1 Введение. Современные подходы к моделированию нейронных систем мозга. Вычислительная нейронаука
2. Модель Ходжкина-Хаксли. Потенциал покоя. Формализм воротных частиц и воротных переменных. Потенциал действия.
3. Упрощенные модели нейронов. Редукция уравнений Ходжкина-Хаксли.  $I_{Na,t}$ ,  $I_{Na,p}+I_K$  модели
4. Модель Фитц-Нагумо. Классы возбудимости динамических систем, пороговые множества и пороговое многообразие.
5. Отклик нейрона на импульсный внешний сигнал. Нейрон-интегратор
6. Резонансные свойства нейронов. Динамическое преобразование импульсных последовательностей
7. Синаптические связи. Гэп-контакт. Модели химических синапсов. Синаптическая пластичность. Кратковременная частотно-зависимая пластичность. Модели STDP пластичности

8. Нейронные сети. Архитектура синаптических связей. Синхронизация в сетях электрически связанных нейронов

9. Нейронные сети возбуждающих и тормозных нейронов с локальными и нелокальными связями.  
Корреляционный граф

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.

электронный курс

1. Электронно-библиотечная система «Консультант студента».
2. Электронно-библиотечная система «Лань».
3. Электронно-библиотечная система «Znaniium.com».
4. Электронно-библиотечная система «ЮРАЙТ».
5. Электронно-библиотечная система «Университетская библиотека ONLINE».
6. Научная электронная библиотека «eLIBRARY.RU»

#### **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 - Задачи) для оценки сформированности компетенции ПК-1:**

Задача 1.

Исследовать динамику уравнения

$$a) \dot{x} = \mu x + x^3$$

Задача 2.

Исследовать динамику уравнения

$$\varphi'' + \sin \varphi = -\gamma;$$

где параметр  $\gamma > 0$ .

### Критерии оценивания (оценочное средство - Задачи)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	студент обладает системными теоретическими знаниями, правильно выполнил практическую задачу, дал полный и развернутый ответ.
не зачтено	студент не обладает достаточным уровнем теоретических знаний, не справился с предложенной практической задачей, не справился с дополнительным заданием.

### 5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Тест) для оценки сформированности компетенции ПК-1:

1. Траектории динамических систем, такие как неподвижная точка и периодические траектории соответствуют следующим состояниям реальных систем

#### 1) Стационарное состояние и периодические движения;

2) Движения с некоторым повторением их состояний во времени

3) Состояния равновесия

2. Динамические системы называются автономными, если

1) Правая часть системы явно зависит от времени

#### 2) Правая часть системы явно не зависит от времени

3) Правая часть системы явно зависит от переменной

3. Динамическая система обладает свойством грубости если для нее справедливо, что

1) При малых изменениях параметров должна оставаться неизменной качественная структура разбиения фазового пространства на траектории

2) При больших изменениях параметров должна оставаться неизменной качественная структура разбиения фазового пространства на траектории

3) При малых изменениях параметров должна оставаться неизменной зависимости переменной от времени

4. Как называют точку неустойчивого равновесия, около которой происходит движение?

#### 1) Седло

- 2) Изображающая точка
- 3) Точка минимума потенциальной энергии

5. Существование предельного цикла на фазовой плоскости есть основной признак ...

- а) любой колебательной системы
- б) только автоколебательной системы

1) только а)

**2) только б)**

3) и а), и б)

4) ни а), ни б)

### **5.1.3 Типовые задания (оценочное средство - Тест) для оценки сформированности компетенции ПК-2:**

1. Если характеристическое уравнение имеет два корня и они оба действительные и отрицательные. Тогда состояние равновесие является

1) **Устойчивым узлом**

2) неустойчивым узлом

3) Устойчивым фокусом

2. Если характеристическое уравнение имеет два корня и они комплексные. действительная часть положительная. Тогда состояние равновесие является

1) Устойчивым узлом

2) неустойчивым узлом

**3) неустойчивым фокусом**

3. Если характеристическое уравнение имеет два корня и они оба действительные и разных знаков. Тогда состояние равновесие является

1) Устойчивым узлом

2) неустойчивым узлом

**3) седлом**

4. Если для трехмерной системы характеристическое уравнение имеет три корня и они действительные (один положительный и два отрицательных корня). Тогда состояние равновесие является

1) Устойчивым узлом

2) неустойчивым узлом

### **3) Седлом с двумерным устойчивым и одномерным неустойчивым многообразиями**

#### **5.1.4 Типовые задания (оценочное средство - Тест) для оценки сформированности компетенции ПК-3:**

1. Программными реализациями спайковых нейронных сетей являются:

- 1) NEURON
- 2) NEST
- 3) CUDA

2. Аппаратными реализациями спайковых нейронных сетей являются:

- 1) NEURON
- 2) Neurogrid
- 3) SPINNAKER

3. Переменные в биофизической модели динамики мембранного потенциала

нейрона Ходжкина-Хаксли описывают

- 1) При малых изменениях параметров должна оставаться неизменной качественная структура разбиения фазового пространства на траектории
- 2) При больших изменениях параметров должна оставаться неизменной качественная структура разбиения фазового пространства на траектории
- 3) При малых изменениях параметров должна оставаться неизменной зависимости переменной от времени

4. Модель Ижикевича описывает:

- 1) Динамику мембранного потенциала нейронов коры больших полушарий
- 2) Динамику химического синапса
- 3) Динамику астроцита

5. Переменными в модели Ижикевича являются:

1) Мембранный потенциал, вспомогательная переменная описывающая

процессы восстановления мембраны

2) Мембранный потенциал, воротные переменные

3) Мембранный потенциал, концентрация натрия, концентрация калия

6. Уравнение Нернста:

1) Описывает отношение между равновесным потенциалом и градиентом концентраций

2) Уравнение для определения градиента концентраций

3) Уравнение для определения электродвижущей силы для ионов

### Критерии оценивания (оценочное средство - Тест)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	50-100% правильных ответов
не зачтено	менее 50% правильных ответов

## 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	При решении стандартных	Продемонстрированы	Продемонстрированы	Продемонстрированы	Продемонстрированы	Продемонстрированы все

	умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки	основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	все основные умения. Решены все основные задачи с отдельными и несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	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 некоторым и недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторым и 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-1

вопросы	Код формируемой компетенции
1. Дать определение гармонических колебаний.	ПК-1
2. Какие колебания называют свободными / вынужденными?	ПК-1
3. Линейные и нелинейные динамические системы	ПК-1
4. Потенциал покоя, потенциал реверсии, потенциал действия	ПК-1
5. Абсолютный и относительный рефрактерный период. Последеполяризация.	ПК-1
17. Гэп-контакт	ПК-1
6. Функциональный коннектом, корреляционный граф	ПК-1
7. Уравнения для воротных переменных. Потенциал-зависимые каналы	ПК-1
8. Принцип резонансной коммуникации нейронов	ПК-1

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

вопросы	Код формируемой компетенции
1. Фазовый портрет и его свойства.	ПК-2
2. Модель Ходжкина-Хаксли	ПК-2
3. Упрощенные модели нейронов. Редукция уравнений Ходжкина-Хаксли	ПК-2
4. Модель Фитц-Нагумо. Классы возбудимости динамических систем	ПК-2
5. Модели химических синапсов.	ПК-2
6. Модели возбуждающих синаптических связей	ПК-2
7. Модели тормозных синаптических связей	ПК-2
8. Ina,t модель. Редукция к фазовой плоскости	ПК-2

9. $INa,p+IK$ модель. Редукция к фазовой плоскости	ПК-2

### 5.3.3 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-3

вопросы	Код формируемой компетенции
1. Что такое вычислительная нейронаука, основные цели, методы и средства	ПК-3
2. Кратковременная частотно-зависимая пластичность	ПК-3
3. Модели STDP пластичности	ПК-3
4. Синхронизация в сетях электрически связанных нейронов	ПК-3
5. Нейрон как интегратор входных сигналов	ПК-3
6. Архитектура нейронных сетей	ПК-3
7. Трансмембранные токи, формализм Ходжкина-Хаксли для описания ионных каналов.	ПК-3
8. Отклик модели ФитцХью-Нагумо на импульсный сигнал. Резонансные нейроны	ПК-3

### Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Безупречное владение теоретическим материалом, наличие творческого подхода к решению нестандартных ситуаций. Полные и развернутые ответы на экзаменационные вопросы и вопросы на семинаре (оценки «отлично и превосходно»). Умение логически точно и правильно сформулировать ответ на поставленный вопрос, умение анализировать и делать выводы. Активное участие во всех семинарских занятиях, отличные оценки за участие и доклады на всех семинарских занятиях.
отлично	Правильные без существенных замечаний ответы на экзаменационные вопросы и вопросы на семинаре (оценки «очень хорошо и отлично»). Умение логически точно и правильно сформулировать ответ на поставленный вопрос, умение анализировать и делать выводы. Активное участие во всех семинарских занятиях, отличные оценки за участие и доклады на всех семинарских занятиях.
очень хорошо	В целом правильные с незначительными недочетами (не более 2-х) ответы на экзаменационные вопросы и вопросы на семинаре (оценки «хорошо»). . Ответы правильные, могут содержать незначительные ошибки и неточности.

Оценка	Критерии оценивания
	Доклады на семинарах оценены не ниже «отлично».
хорошо	В целом правильные с незначительными недочетами (2-3) ответы на экзаменационные вопросы и вопросы на семинаре (оценки «хорошо»). Ответы правильные, могут содержать незначительные ошибки и неточности. Доклады на семинарах оценены не ниже «хорошо».
удовлетворительно	Несколько грубых недочетов в ответах на экзаменационные вопросы и вопросы на семинаре (оценки «удовлетворительно»). Ответы с ошибками. Доклады к семинарам выполнены удовлетворительно. Пропуски семинарских занятий.
неудовлетворительно	Неверные ответы на экзаменационные вопросы и вопросы на семинаре. Ответы неполные, с ошибками. Пропуски семинарских занятий. Необходима дополнительная подготовка для успешного прохождения испытаний.
плохо	Неверные ответы на экзаменационные вопросы (либо отсутствие ответов) и вопросы на семинаре. Пропуски семинарских занятий. Необходима дополнительная подготовка для успешного прохождения испытаний.

### 5.3.4 Типовые задания (оценочное средство - Задания) для оценки сформированности компетенции ПК-1

1. Провести качественный анализ ДС на прямой: найти все с.р., определить их устойчивость, построить фазовый портрет, зависимость  $x(t)$ , бифуркационную диаграмму:

$$\dot{x} = \mu x/3 + x^2$$

2. Провести качественный анализ ДС на прямой: найти все с.р., определить их устойчивость, построить фазовый портрет, зависимость  $x(t)$ , бифуркационную диаграмму:

$$\dot{x} = \mu x + x^3/9$$

### Критерии оценивания (оценочное средство - Задания)

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Уровень знаний в полном объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок.
отлично	Уровень знаний в полном объеме, соответствующем программе подготовки, есть незначительные погрешности.
очень хорошо	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущена 1 негрубая ошибка

Оценка	Критерии оценивания
хорошо	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок
удовлетворительно	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибки.
неудовлетворительно	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки.
плохо	Отсутствие ответа

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

Основная литература:

1. Биофизика : учеб. для вузов / под ред В. Г. Артюхова. - 2-е изд. - М. : Академический Проект, 2013. - 294 с. - (Фундаментальный учебник) (Gaudeamus). - Авт. указ. на обороте тит. л. - ISBN 978-5-8291-1495-4 : 525.00., 20 экз.
2. Гайворонский Иван Васильевич. Анатомия центральной нервной системы и органов чувств : учеб. для акад. бакалавриата. - М. : Юрайт, 2016. - 293 с. - (Бакалавр. Академический курс). - ISBN 978-5-9916-5864-5 : 240.00., 1 экз.
3. Некоркин Владимир Исаакович. Лекции по основам теории колебаний : учеб. пособие для студентов ННГУ, специализирующихся в области радиофизики, приклад. математики и мат. моделирования / ННГУ. - Н. Новгород : Изд-во ННГУ, 2012. - 311 с. - ISBN 978-5-91326-230-1 : 162.13., 148 экз.

Дополнительная литература:

1. Рубин Андрей Борисович. Биофизика : учеб. для студентов биол. специальностей вузов : в 2 кн. Кн. 1. Теоретическая биофизика. - М. : Высшая школа, 1987. - 319 с. : ил. - 1.30., 108 экз.
2. Рубин Андрей Борисович. Биофизика : учеб. для студентов биол. специальностей вузов : в 2 кн. Кн. 2. Биофизика клеточных процессов. - М. : Высшая школа, 1987. - 302, [1] с. : ил. - 1.30., 93 экз.
3. Рабинович Михаил Израилевич. Введение в теорию колебаний и волн : учеб. пособие для физ. специальностей вузов. - М. : Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1984. - 432 с. : ил. - 1.30., 161 экз.

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

<http://www.scholarpedia.org/article/STDTP>  
[http://www.scholarpedia.org/article/Models\\_of\\_synaptic\\_plasticity](http://www.scholarpedia.org/article/Models_of_synaptic_plasticity)  
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed>  
[webofknowledge.com](http://webofknowledge.com)  
[www.scopus.com](http://www.scopus.com)

## **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 ФГОС ВО по направлению подготовки/специальности 03.04.03 - Радиофизика.

Автор(ы): Казанцев Виктор Борисович, доктор физико-математических наук, доцент.

Рецензент(ы): Осипов Григорий Владимирович, доктор физико-математических наук.

Заведующий кафедрой: Матросов Валерий Владимирович, доктор физико-математических наук.

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