

Белорусский государственный университет

**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор по учебной работе  
и образовательным инновациям

**О. Н. Здрок**

«17» июня 2021 г.

Регистрационный № УД- 9755 /уч.



## **ФИЗИКА БИОСИСТЕМ**

**Учебная программа учреждения высшего образования  
по учебной дисциплине для специальности:**

**1-31 04 01 Физика (по направлениям)**

**1-31 04 01-01 Физика (научно-исследовательская деятельность)**

2021 г.

Учебная программа составлена на основе образовательного стандарта ОСВО 1-31 04 01-2013 и учебных планов УВО №G31-214/уч. от 20.02.2018 г., №G31и-215/уч. от 20.02.2018 г.

**СОСТАВИТЕЛЬ:**

Мартинovich Г.Г., заведующий кафедрой биофизики, доктор биологических наук, доцент

**РЕЦЕНЗЕНТ:**

Щербин Д.Г., заведующий отделом медицинской нанобиофизики ГНУ «Институт биофизики и клеточной инженерии НАН Беларуси», доктор биологических наук, доцент

Лукияненко Л.М., заместитель директора по научной работе ГНУ «Институт биофизики и клеточной инженерии НАН Беларуси», кандидат биологических наук

**РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:**

Кафедрой биофизики физического факультета Белорусского государственного университета  
(протокол № 11 от 26.04.2021 г.);

Научно-методическим Советом БГУ  
(протокол № 5 от 24.05.2021 г.)

Заведующий кафедрой биофизики  
д.б.н., доцент



Г.Г. Мартинovich

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

### Цели и задачи учебной дисциплины

**Цель** учебной дисциплины – сформировать представления о физических основах строения и функционирования обширного класса материальных объектов – биосистем.

### Задачи учебной дисциплины:

1. Формирование представлений о структурно-функциональной организации биообъектов и их физических свойствах.
2. Формирование представлений о физических основах функционирования клеток и организмов.
2. Формирование представлений о физико-химических механизмах биологических процессов.
4. Ознакомление с физическими методами изучения структурно-функциональных свойств биообъектов.
5. Ознакомление с направлениями использования биофизических свойств биообъектов в современных технологиях.

**Место учебной дисциплины** в системе подготовки специалиста с высшим образованием.

Учебная дисциплина относится к **циклу** специальных дисциплин (государственный компонент).

**Связи** с другими учебными дисциплинами, включая учебные дисциплины компонента учреждения высшего образования, дисциплины специализации и др.

*Учебная дисциплина основана* на базовых знаниях и представлениях, заложенных в следующих курсах: «Молекулярная физика», «Электричество и магнетизм», «Физика коллоидных систем» и др. Программа данного курса пересекается с дисциплиной «Физика коллоидных систем».

### Требования к компетенциям

Освоение учебной дисциплины «Физика биосистем» должно обеспечить формирование следующих академических, социально-личностных и профессиональных компетенций.

#### *академические* компетенции:

- АК-1. Уметь применять базовые научно-теоретические знания для решения теоретических и практических задач;
- АК-2. Владеть системным и сравнительным анализом;
- АК-3. Владеть исследовательскими навыками;
- АК-4. Уметь работать самостоятельно;
- АК-5. Быть способным порождать новые идеи (обладать креативностью);
- АК-6. Владеть междисциплинарным подходом при решении проблем;

АК-9. Уметь учиться, повышать свою квалификацию в течение всей жизни;

**социально-личностные** компетенции:

СЛК-1. Обладать качествами гражданственности;

СЛК-2. Быть способным к социальному взаимодействию.

СЛК-3. Обладать способностью к межличностным коммуникациям;

СЛК-4. Владеть навыками здоровьесбережения;

СЛК-5. Быть способным к критике и самокритике (критическое мышление);

СЛК-6. Уметь работать в команде.

**профессиональные** компетенции:

ПК-1. Применять знания теоретических и экспериментальных основ физики, современных технологий и материалов, методы исследования физических объектов, методы измерения физических величин, методы автоматизации эксперимента

ПК-2. Использовать новейшие открытия в естествознании, методы научного анализа, информационные образовательные технологии, физические основы современных технологических процессов, научное оборудование и аппаратуру.

ПК-3. Проводить планирование и реализацию физического эксперимента, оценивать функциональные возможности сложного физического оборудования.

ПК-4. Пользоваться глобальными информационными ресурсами, компьютерными методами сбора, хранения и обработки информации, системами автоматизированного программирования, научно-технической и патентной литературой.

ПК-5. Осуществлять поиск, систематизацию и анализ информации по перспективным направлениям развития отрасли, инновационным технологиям, проектам и решениям.

ПК-6. Применять полученные знания фундаментальных положений физики, экспериментальных, теоретических и компьютерных методов исследования, планирования, организации и ведения научно-исследовательской, научно-производственной и научно-педагогической работы.

В результате освоения учебной дисциплины студент должен:

**знать:**

основные понятия молекулярной и клеточной биофизики; физические и физико-химические свойства основных классов биомолекул – белков, нуклеиновых кислот, липидов и углеводов; основные физико-химические процессы в биосистемах; механизмы преобразования энергии в биосистемах; механизмы хранения и обработки информации в клетках;

**уметь:**

объяснять физико-химические свойства биомакромолекул, строение мембран и клеток, механизмы биофизических явлений, в том числе

механизмы возникновения мембранного потенциала; анализировать теоретические и экспериментальные результаты исследования физических, химических и биологических процессов на различных уровнях структурной организации живого;

**владеть:**

понятийным аппаратом в области биофизики; навыками анализа информации о физических и физико-химических свойствах живых систем.

### **Структура учебной дисциплины**

Дисциплина изучается в 7 семестре. Всего на изучение учебной дисциплины «Физика биосистем» отведено:

– для очной формы получения высшего образования – 56 часов, в том числе 36 аудиторных часов, из них: лекции – 30 часа, управляемая самостоятельная работа – 6 часов.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 1,5 зачетные единицы.

Форма текущей аттестации – зачет.

# **СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА**

## **Раздел 1. Введение**

Науки о жизни. Предмет биофизики. Понятие живой системы. Разделы биофизики. Связь биофизики с другими науками: физикой, химией, биохимией, физиологией и молекулярной биологией. Уровни биофизических исследований. Роль биофизики в развитии современных технологий. Роль физики и физических методов исследований в развитии наук о жизни.

## **Раздел 2. Химический и молекулярный состав биосистем**

### **Тема 2.1. Молекулярный состав биосистем.**

Биогенные элементы. Микро- и макроэлементы. Основные классы биологических молекул. Белки. Нуклеиновые кислоты. Углеводы и липиды. Физические, физико-химические и биологические свойства биомолекул.

### **Тема 2.2. Структура и свойства воды.**

Основные типы взаимодействий в живых системах. Вода и ее роль в биосистемах. Структура и физико-химические свойства воды. Водородная связь. Электролитические свойства воды. pH. Растворимость в воде гидрофобных и гидрофильных соединений. Гидрофобный эффект.

## **Раздел 3. Клетка и клеточные органеллы: строение и функции**

Клетка – структурно-функциональная единица живого. Строение и свойства клеток. Макромолекулярные и надмолекулярные структуры. Клеточные органеллы и их функции. Ядро: строение и функции. Цитоскелет: молекулярный состав и основные функции. Структура и функции митохондрий. Особенности физико-химических условий в компартментах клетки. Сравнительный анализ строения прокариотов и эукариотов.

## **Раздел 4. Молекулярная биофизика**

### **Тема 4.1. Физика белка. Физика фолдинга.**

Структура и функции белков. Аминокислоты. Пептидная цепь. Пространственная структура белка. Факторы, определяющие третичную структуру белков. Фолдинг белка. Парадокс Левинталя. Термодинамика фолдинга. Динамика белка. Фазовые переходы в белках. Оптические свойства белков.

### **Тема 4.2. Физика ферментов.**

Функции белков. Ферментативный катализ. Химическая кинетика. Особенности ферментов как биологических катализаторов. Стереоспецифичность. Фермент-субстратный комплекс. Кинетика ферментативного катализа. Уравнение Михаэлиса-Ментен.

### **Тема 4.3. Физика нуклеиновых кислот.**

Функции и свойства нуклеиновых кислот. Первичная структура нуклеиновых кислот. Вторичная структура ДНК. Модель Уотсона-Крика.

Механизмы плавления нуклеиновых кислот. Ген. Геном. Генетическая информация.

#### **Тема 4.4. Липиды и липидные структуры.**

Строение, физико-химические свойства и функциональная роль липидов. Липиды как один из основных компонентов биологических мембран. Строение и физические свойства мембран клеток. Типы подвижности мембранных компонентов и их характерные времена. Надмолекулярная организация мембран. Твердо-каркасная, жидкостно-мозаичная и доменно-рафтовая модели мембран.

### **Раздел 5. Биофизика клеточных процессов**

#### **Тема 5.1. Транспорт веществ в клетках.**

Транспортные явления в мембранах и организмах. Диффузия веществ в растворе и через мембрану. Статистическое описание диффузионных явлений. Первый закон Фика. Коэффициент диффузии. Эквивалентная диффузионная сила. Распределение частиц между фазами. Первый закон Фика для мембран. Коэффициент проницаемости. Облегченная диффузия. Активный транспорт.

#### **Тема 5.2. Электрические свойства клеток.**

Миграция ионов. Механическая и электрическая подвижность ионов в растворе. Электрохимический потенциал. Электродиффузия. Уравнение Нернста-Планка. Уравнение Теорелла. Биологическая мембрана как электрический конденсатор. Перенос ионов через мембраны. Ионные каналы. Ионная асимметрия клеток. Потенциал Нернста. Мембранный потенциал. Уравнение Гольдмана.

#### **Тема 5.3. Физика нервного импульса.**

Молекулярные участники генерации нервного импульса. Потенциалзависимые натриевые и калиевые каналы. Натрий-калиевая АТФаза. Генерация и распространение нервного импульса. Модель Ходжкина-Хаксли. Эквивалентная электрическая схема мембраны и ее объяснение. Кабельное уравнение.

#### **Тема 5.4. Преобразование энергии в биосистемах.**

Термодинамический анализ биосистем. Экзергонические и эндергонические процессы. Принцип энергетического сопряжения. Источники свободной энергии. Аденозинтрифосфат (АТФ). Градиенты электрохимического потенциала протонов. Макромолекулярные преобразователи энергии. Электрон-транспортные цепи. Туннелирование электронов в белках. Формула Маркуса. Окислительное фосфорилирование. Молекулярный мотор  $H^+$ -АТФ-синтаза.

#### **Тема 5.5. Механизмы обработки информации в биосистемах.**

Трансдукция и запись информации в клетках. Первичные и вторичные мессенджеры. Типы рецепторов. Физические основы молекулярного узнавания. Лиганд-рецепторное взаимодействие. Константа диссоциации. Системы передачи и усиления сигнала в клетках.

## УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Дневная форма получения образования

| Номер раздела,<br>темы | Название раздела, темы                           | Количество аудиторных часов |                         |                        |                         |      | Количество часов<br>УСР | Форма контроля<br>знаний      |
|------------------------|--------------------------------------------------|-----------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|------|-------------------------|-------------------------------|
|                        |                                                  | Лекции                      | Практические<br>занятия | Семинарские<br>занятия | Лабораторные<br>занятия | Иное |                         |                               |
| 1                      | 2                                                | 3                           | 4                       | 5                      | 6                       | 7    | 8                       | 9                             |
| 1                      | Введение                                         | 2                           |                         |                        |                         |      |                         |                               |
| 2                      | Химический и молекулярный состав биосистем       |                             |                         |                        |                         |      |                         |                               |
| 2.1                    | Молекулярный состав биосистем                    | 2                           |                         |                        |                         |      |                         |                               |
| 2.2                    | Структура и свойства воды                        | 2                           |                         |                        |                         |      |                         |                               |
| 3                      | Клетка и клеточные органеллы: строение и функции | 2                           |                         |                        |                         |      |                         | устный опрос                  |
| 4                      | Молекулярная биофизика                           |                             |                         |                        |                         |      |                         |                               |
| 4.1                    | Физика белка. Физика фолдинга                    | 2                           |                         |                        |                         |      |                         |                               |
| 4.2                    | Физика ферментов                                 | 2                           |                         |                        |                         |      |                         | решение(анализ) кейсов        |
| 4.3                    | Физика нуклеиновых кислот                        | 2                           |                         |                        |                         |      |                         |                               |
| 4.4                    | Липиды и липидные структуры                      | 2                           |                         |                        |                         |      | 2                       | Письменная контрольная работа |
| 5                      | Биофизика клеточных процессов                    |                             |                         |                        |                         |      |                         |                               |
| 5.1                    | Транспорт веществ в клетках                      | 2                           |                         |                        |                         |      |                         |                               |
| 5.2                    | Электрические свойства клеток                    | 2                           |                         |                        |                         |      | 2                       | доклад, защита рефератов      |
| 5.3                    | Физика нервного импульса                         | 2                           |                         |                        |                         |      |                         |                               |
| 5.4                    | Преобразование энергии в                         | 4                           |                         |                        |                         |      |                         |                               |

|     |                                              |    |  |  |  |  |   |                          |
|-----|----------------------------------------------|----|--|--|--|--|---|--------------------------|
|     | биосистемах                                  |    |  |  |  |  |   |                          |
| 5.5 | Механизмы обработки информации в биосистемах | 4  |  |  |  |  | 2 | доклад, защита рефератов |
|     | Всего часов                                  | 30 |  |  |  |  | 6 | зачет                    |



## **ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ**

### **Перечень основной литературы**

1. Рубин А.Б. Биофизика. В 2-х книгах. Кн.1. Теоретическая биофизика. – М.: МГУ. 2004.
2. Рубин А.Б. Биофизика. В 2-х книгах. Кн.2. Биофизика клеточных процессов. – М.: МГУ. 2004.
3. Мартинович Г.Г., Сазанов Л.А., Черенкевич С.Н. Клеточная биоэнергетика: физико-химические и молекулярные основы. – М: URSS, 2020.
4. Черенкевич С.Н., Мартинович Г.Г., Хмельницкий А.И. Биологические мембраны. – Минск: БГУ, 2009.
5. Черенкевич С.Н., Хмельницкий А.И. Транспорт веществ через биологические мембраны. – Минск.: БГУ, 2007.
6. Антонов В.Ф. и др. Биофизика: учеб. для студентов вузов. – М.: ВЛАДОС, 2006.
7. Ревин В.В., Максимов Г.В., Кольс О.Г. Биофизика: учеб. – Саранск, Изд. Мордов. ун-а. 2002.

### **Перечень дополнительной литературы**

1. Твердислов В.А., Сидорова А.Э., Яковенко Л.В. Биофизическая экология. – М: URSS, 2020.
2. Блюменфельд Л.А. Решаемые и нерешаемые проблемы биологической физики. – М., URSS. 2002.
3. Шредингер Э. Что такое жизнь? Физический аспект живой клетки. – Москва-Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2002.
4. Романовский Ю.М., Тихонов А.Н. Молекулярные преобразователи энергии живой клетки. Протонная АТФ-синтаза – вращающийся молекулярный мотор // Успехи физических наук. 2010. Т.180, №9, С.931-956.

### **Перечень рекомендуемых средств диагностики и методика формирования итоговой оценки**

Для текущего контроля качества усвоения знаний по дисциплине рекомендуется использовать устный опрос, доклады с презентациями на семинарских занятиях, контрольные работы по разделам дисциплины, а также защиту реферативных работ и анализ кейсов.

Контрольные мероприятия проводятся в соответствии с учебно-методической картой дисциплины. В случае неявки на контрольное мероприятие по уважительной причине студент вправе по согласованию с преподавателем выполнить его в дополнительное время.

Оценка по каждому контрольному мероприятию выставляется по десятибалльной шкале. Оценка за ответы на семинарских (практических) занятиях учитывает полноту ответа, раскрытие физических механизмов и наличие примеров практического применения. При оценивании реферата (доклада) обращается внимание на: актуальность описываемой проблемы, содержание и полноту раскрытия темы, структуру и последовательность изложения, источники и их интерпретацию, корректность оформления.

Оценка текущей успеваемости (Т) рассчитывается как среднее оценок за каждое контрольное мероприятие (доклады (Д), рефераты (Р), контрольная работа (К)):

$$T = \frac{Д+Р+К}{3}.$$

Оценка текущей успеваемости должна быть не ниже 4 баллов, оценка ниже 4 баллов считается неудовлетворительной. Для студентов, получивших неудовлетворительные оценки за контрольные мероприятия, либо не явившихся по неуважительной причине, по согласованию с преподавателем и с разрешения заведующего кафедрой мероприятие может быть проведено повторно.

Формой текущей аттестации по дисциплине «Физика биосистем» учебным планом предусмотрен зачет.

Студент допускается к зачету при оценке текущей успеваемости  $T \geq 4$ . Итоговый контроль по курсу (И) проводится в виде опроса в устной форме в соответствии со списком вопросов к зачету. При итоговой отметке  $I \geq 4$  материал по курсу считается зачтенным.

### **Примерный перечень заданий для управляемой самостоятельной работы студентов**

Тема 4.4. Липиды и липидные структуры (2 ч).  
(Форма контроля – письменная контрольная работа)

Тема 5.2. Электрические свойства клеток. (2 ч).  
(Форма контроля – доклады, защита рефератов)

Тема 5.5. Механизмы обработки информации в биосистемах (2 ч).  
(Форма контроля – доклады, защита рефератов)

## **Описание инновационных подходов и методов к преподаванию учебной дисциплины**

При организации образовательного процесса используется **метод анализа конкретных ситуаций (кейс-метод)**, который предполагает:

- приобретение студентом знаний и умений для решения практических задач;
- анализ ситуации, используя профессиональные знания, собственный опыт, дополнительную литературу и иные источники.

При организации образовательного процесса также используется **практико-ориентированный подход**, который предполагает:

- освоение содержания образования через решения практических задач;
- приобретение навыков эффективного выполнения разных видов профессиональной деятельности;
- ориентацию на генерирование идей, реализацию групповых студенческих проектов, развитие предпринимательской культуры;
- использованию процедур, способов оценивания, фиксирующих сформированность профессиональных компетенций.

## **Методические рекомендации по организации самостоятельной работы обучающихся**

При изучении учебной дисциплины рекомендуется использовать следующие формы самостоятельной работы:

- поиск (подбор) и обзор литературы и электронных источников по индивидуально заданной проблеме курса;
- изучение материала, вынесенного на самостоятельную проработку;
- подготовка и написание рефератов, докладов с презентацией на заданные темы.

## **Темы реферативных работ**

1. Физические свойства белка.
2. Физические свойства нуклеиновых кислот.
3. Строение и физические свойства мембран клеток.
4. Физика ферментативного катализа.
5. Физика нервного импульса.
6. Физика мышечного сокращения.
7. Физика фотосинтеза.
8. Физические основы трансдукции сигналов в клетках.
9. Обработка и хранение информации с участием углеводов.
10. Фазовые переходы в липидных структурах.
11. Физические свойства клеток.
12. Физические основы формирования трансмембранного потенциала.
13. Применение термодинамики в биологии.

14. Термодинамика открытых систем.
15. Энтропия, информация и биологическая упорядоченность.
16. Преобразование энергии в биосистемах.
17. Цепи транспорта электронов в мембранах.
18. Транспорт веществ в клетках.
19. Диффузия веществ в растворе и через мембрану.
20. Перенос ионов через мембраны. Ионные каналы.
21. Механизмы обработки информации в биосистемах.
22. Физические методы в медицине (реферат по одному из методов).
23. Физические методы изучения структуры и функционирования биообъектов (реферат по одному из методов).
24. Рентгеновский лазер на свободных электронах и его применение в биологии и медицине.

### **Примерный перечень вопросов к зачету**

1. Предмет физики живых систем.
2. Структура и свойства воды. Водородная связь.
3. Строение, функции и свойства клеток.
4. Химический состав клеток.
5. Структура, свойства и функции белков.
6. Аминокислоты. Полипептидная цепь.
7. Пространственная структура белка.
8. Физические свойства белка.
9. Физика ферментов.
10. Ферментативный катализ.
11. Уравнение Михаэлиса-Ментен.
12. Строение, функции и свойства нуклеиновых кислот.
13. Липиды и липидные структуры.
14. Фазовые переходы в липидных структурах.
15. Строение и физические свойства мембран клеток.
16. Физические свойства клеток.
17. Диффузия веществ. Первый закон Фика.
18. Коэффициент диффузии. Эквивалентная «диффузионная» сила.
19. Диффузия веществ в клетки. Первый закон Фика для мембран.
20. Миграция ионов. Проводимость электролита.
21. Электродиффузия ионов. Уравнения Нернста-Планка.
22. Уравнение Теорелла для диффузии и электродиффузии.
23. Мембранный потенциал. Уравнение Гольдмана.
24. Генерация потенциала действия.
25. Модель Ходжкина-Хаксли.
26. Кабельное уравнение для нервного волокна.
27. Принцип негэнтропии Шредингера.
28. Принцип энергетического сопряжения.
29. Молекулярные преобразователи энергии в биосистемах.

30. Перенос электронов в белках. Формула Маркуса.
31. Фосфорилирование и  $H^+$ -АТФ-синтазный комплекс.
32. Механизмы обработки информации в биосистемах.
33. Лиганд-рецепторное взаимодействие.
34. Трансдукция сигналов в клетках.

## ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УВО

| Название учебной дисциплины, с которой требуется согласование        | Название кафедры  | Предложения об изменениях в содержании учебной программы учреждения высшего образования по учебной дисциплине | Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола) |
|----------------------------------------------------------------------|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Защита населения от чрезвычайных ситуаций. Радиационная безопасность | Кафедра биофизики | Оставить содержание учебной дисциплины без изменения                                                          | Изменение не требуется (протокол № 11 от 26.04.2021)                                              |
|                                                                      |                   |                                                                                                               |                                                                                                   |
|                                                                      |                   |                                                                                                               |                                                                                                   |

**ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ ПО  
ИЗУЧАЕМОЙ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**

на \_\_\_\_ / \_\_\_\_ учебный год

| №<br>п/п | Дополнения и изменения | Основание |
|----------|------------------------|-----------|
|          |                        |           |

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры  
\_\_\_\_\_ (протокол № \_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 201\_ г.)

Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета

\_\_\_\_\_