

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ М.В.ЛОМОНОСОВА»

ФИЛИАЛ МГУ В Г. ГРОЗНОМ

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель директора филиала – руководитель
образовательных программ

А. С. Воронцов



«___» _____ 20__ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование дисциплины:

Биофизика

Уровень высшего образования:

Специалитет

Специальность:

06.05.02 Фундаментальная и прикладная биология

Направленность (профиль)/специализация образовательной программы:

Биотехнология

Форма обучения:

Очная

Москва 2024

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по специальности 06.05.02 «ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ И ПРИКЛАДНАЯ БИОЛОГИЯ» (образовательная программа специалитета «Биотехнология»).

ОС МГУ утвержден решением Ученого совета МГУ имени М.В.Ломоносова 20.01.2022 года.

Год приема на обучение 2024.

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина относится к обязательной части ОПОП ВО, раздел учебного плана: Вариативная часть, реализуется в 6 семестре.

Дисциплина «Биофизика» посвящена науке о фундаментальных физических и физико-химических механизмах взаимодействий, которые лежат в основе биологических явлений. В центре внимания биофизики нахождение общих принципов взаимодействий и превращений на молекулярном уровне, лежащих в основе биологических процессов, установление их природы в соответствии с законами физики и химии с использованием современных достижений математики. На основе анализа этих принципов разработана обобщенная теоретическая база, которая формирует предмет биофизики как самостоятельной науки, имеющей собственные методы и области приложения.

Целью данного курса является выявление во всем многообразии явлений живой природы общих физико-химических механизмов, лежащих в основе биологических процессов, знакомство с основными теоретическими моделями, описывающими эти механизмы.

Курс подразделяется на две основные части: теоретическую биофизику и биофизику клеточных процессов. Задачами первой части курса являются:

- создание базовых представлений о кинетических закономерностях биологических процессов на разных уровнях организации живой природы;
- ознакомление с основами термодинамического описания биологических систем и процессов в рамках равновесной и неравновесной термодинамики;
- знакомство со структурной организацией биополимеров и их электронным строением;
- формирование представлений о динамических свойствах биологических макромолекул и принципах их функционирования.

Задачи второй части курса следующие:

- ознакомление со структурной организацией и динамическими свойствами биологических мембран;
- знакомство с основными механизмами транспорта веществ через биологические мембраны;
- формирование представлений о механизмах генерации биопотенциалов;
- знакомство с молекулярными механизмами энергетического сопряжения в процессах фотосинтеза и дыхания;
- ознакомление с общими закономерностями фотобиологических процессов;
- знакомство с особенностями конкретных фотобиологических процессов (фотосинтез, зрение, фоторегуляторные и фотодеструктивные процессы);

- формирование общих представлений о механизмах действия на биологические системы ионизирующих и неионизирующих излучений.

Освоение дисциплины «Биофизика» необходимо как предшествующее для изучения дисциплин: «Основы молекулярной биологии», «Вирусология и иммунология», «Эволюционная биология», а также производственных практик, Научно-исследовательской работы и дисциплин специализации. Дисциплина «Биофизика» предваряет работу студентов над ВКР.

2. Входные требования

Перед началом освоения дисциплины «Биофизика» студент должен изучить следующие дисциплины: «Высшая математика», «Физика», «Общая и неорганическая химия», «Физическая химия», «Органическая химия», «Клеточная биология», «Гистология», «Математические методы в биологии», «Общая генетика», «Ботаника», «Зоология».

3. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с требуемыми компетенциями выпускников

| Компетенция | Индикатор достижения компетенции | Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с индикаторами достижения компетенций |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>УК-2. Способен в контексте профессиональной деятельности использовать знания об основных понятиях и методах естествознания.</p> | <p>УК-2.3. Применяет физические методы для изучения биологических систем на различных уровнях организации живого.</p> | <p>Знает:</p> <ul style="list-style-type: none"> • законы термодинамики в применении к биологическим системам; • основные принципы, определяющие электронные свойства, пространственную структуру биополимеров и их конформационную подвижность; • структурную организацию биологических мембран, их физико-химические свойства и особенности динамического поведения; • механизмы транспорта веществ через биомембраны, молекулярное строение и механизмы функционирования систем мембранного транспорта (каналов, переносчиков, насосов); • механизмы генерации и распространения возбуждения в клетках; • молекулярные механизмы процессов энергетического |

| | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | | <p>сопряжения (фотосинтетические и дыхательные процессы);</p> <ul style="list-style-type: none"> • основные закономерности действия света на биологические системы; • физико-химические механизмы фотоэнергетических, фоторегуляторных и фотодеструктивных процессов; • молекулярные механизмы действия ионизирующих и неионизирующих излучений на биологические системы; • физические основы использования ионизирующих и неионизирующих излучений в медицине. <p>Умеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> • применять физические методы для изучения биологических систем на различных уровнях организации живого. <p>Владеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> • навыками работы на современном научном оборудовании. |
| <p>УК-7. Способен использовать современные информационно-коммуникационные технологии в академической и профессиональной сферах.</p> | <p>УК-7.2. Использует современные информационно-коммуникационные технологии в академической и профессиональной сферах.</p> | <p>Знает:</p> <ul style="list-style-type: none"> • приёмы, способы и методы применения средств вычислительной техники при выполнении функций сбора, хранения, обработки, передачи и использования данных. <p>Умеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> • проводить поиск научной литературы по заданной тематике, в том числе с использованием баз данных профессионального назначения; • осуществлять критический анализ и синтез полученной информации; • формулировать цель и конкретные задачи сбора имеющейся научной информации и планируемых собственных исследований. <p>Владеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> • навыками |

| | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | | самостоятельного приобретения и использования в практической деятельности новых знаний и умений, обеспечивающих осуществление инновационных подходов к решению исследуемых научных проблем. |
| <p>ОПК-1. Способен применять знание о разнообразии, развитии и эволюции биологических объектов различных уровней организации для решения профессиональных задач в полевых и лабораторных условиях, в том числе с привлечением современных методов структурной биологии, биоинформатики, математического и молекулярного моделирования; способен понимать значение биоразнообразия для устойчивости биосферы.</p> | <p>ОПК-1.8. Использует знания о современных методах биоинформатики, математического и молекулярного моделирования для решения профессиональных задач в полевых и лабораторных условиях.</p> | <p>Знает:</p> <ul style="list-style-type: none"> • основные особенности кинетики биологических процессов, принципы построения математических моделей биологических систем; • основные принципы, определяющие электронные свойства, пространственную структуру биополимеров и их конформационную подвижность; • методы определения пространственной структуры и параметров конформационной динамики биомакромолекул. <p>Умеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> • применять методы качественной теории дифференциальных уравнений в анализе динамических свойств биологических процессов. <p>Владеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> • навыками построения и валидации математических моделей биологических систем. |
| <p>ОПК-2. Способен планировать и проводить биологические эксперименты, наблюдение, описание, идентификацию, классификацию и культивирование биологических объектов, опираясь на знание их</p> | <p>ОПК-2.10. Применяет физические и математические методы для изучения биологических систем на различных уровнях организации живого</p> | <p>Знает:</p> <ul style="list-style-type: none"> • фундаментальные теоретические основы биофизических методов и их возможности для решения биологических и биофизических задач <p>Умеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> • применять физические и математические методы для изучения биологических систем на различных уровнях организации живого <p>Владеет навыками:</p> |

| | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>структурной и функциональной организации, механизмов жизнедеятельности, используя современное оборудование, информационные технологии и профессиональные базы данных, физико-химические методы и методы моделирования, соблюдая требования биозтики, техники безопасности и информационной безопасности;</p> | | <ul style="list-style-type: none"> • самостоятельного выбора, освоения или разработки экспериментальных методов (биофизических, биохимических, радиобиологических, расчетных и др.), необходимых для выполнения планируемых исследований • обработки экспериментальных результатов и составления научных отчетов по результатам экспериментальных исследований. |
| <p>ОПК-3. Способен использовать знание современных теоретических и методических подходов математики и естественных наук для решения междисциплинарных задач в сфере профессиональной деятельности.</p> | <p>ОПК-3.9 Применяет физические законы для описания процессов, происходящих в биологических системах.</p> | <p>Знает:</p> <ul style="list-style-type: none"> • общие принципы построения математических моделей биологических систем. <p>Умеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> • применять физические законы для описания процессов, происходящих в биологических системах. <p>Владеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> • навыками формулировать и анализировать простые математические модели биологических процессов. |
| <p>ОПК-10. Способен разрабатывать и использовать методы экологического мониторинга, опираясь на подходы биоиндикации и биотестирования.</p> | <p>ОПК-10.3. Разрабатывает и использует методы экологического мониторинга, опираясь на подходы биоиндикации и биотестирования</p> | <p>Знает:</p> <ul style="list-style-type: none"> • основные аспекты экологии фотосинтеза и путей использования реакций фотоавтотрофных организмов в экологическом мониторинге; • спектральные методы оценки функционального состояния фотосинтетического аппарата. <p>Умеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> • работать на современном научном оборудовании, используемом для оценки |

| | | |
|--|--|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | | состояния фотосинтетического аппарата у растительных объектов. Владеет: <ul style="list-style-type: none"> • навыками оценки состояния водной и наземной среды с помощью флуоресцентных измерений. |
|--|--|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

4. Объем дисциплины

Объем дисциплины - 3 з.е. (108 ак.ч), из них 72 ак.ч - контактная работа обучающихся с преподавателем на занятиях лекционного типа (лекции - 48 ак.ч) и на занятиях семинарского типа (семинары - 24 ч). Самостоятельная работа обучающихся – 36 ак.ч. Форма промежуточной аттестации – экзамен (6 семестр).

5. Форма обучения - очная

6. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов, и виды учебных занятий

| № п/п | Раздел дисциплины | Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) Виды контактной работы, ак. ч. | | Самостоятельная работа (ак.часы) |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|
| | | Занятия лекционного типа (лекции) | Занятия семинарского типа (семинары) | |
| 1 | Введение. Предмет и задачи биофизики | 4 | 2 | 2 |
| 2 | Кинетика биологических процессов | 4 | 2 | 2 |
| 3 | Термодинамика биологических процессов | 4 | 2 | 2 |
| 4 | Молекулярная биофизика. Пространственная организация биополимеров | 4 | 2 | 2 |
| 5 | Молекулярная биофизика. Динамика и электронные свойства биополимеров | 4 | 2 | 2 |
| 6 | Структура и функционирование биологических мембран | 4 | 2 | 2 |
| 7 | Электрические свойства биологических мембран. Мембранный транспорт. Возбудимые мембраны | 4 | 2 | 2 |

| | | | | |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------|----|----|----|
| 8 | Механизмы трансформации энергии в первичных фотобиологических процессах. Фотосинтез | 4 | 2 | 2 |
| 9 | Молекулярные механизмы энергетического сопряжения | 4 | 2 | 2 |
| 10 | Фотобиофизика. Фоторегуляторные и фотодеструктивные процессы. Окислительный стресс | 4 | 2 | 2 |
| 11 | Предмет и основные положения экологической биофизики | 4 | 2 | 2 |
| 12 | Радиационная биофизика | 4 | 2 | 2 |
| 13 | <u>Промежуточная аттестация – экзамен</u> | | | 12 |
| | Итого: | 48 | 24 | 36 |

6.1. Содержание дисциплины по разделам

Занятия лекционного типа

Введение

Предмет и задачи биофизики. Биологические и физические процессы и закономерности в живых системах. Методологические вопросы биофизики. История развития отечественной биофизики.

Тема 1. Кинетика биологических процессов

Основные особенности кинетики биологических процессов. Описание динамики биологических процессов на языке химической кинетики. Математические модели. Задачи математического моделирования в биологии. Общие принципы построения математических моделей биологических систем. Понятие адекватности модели реальному объекту. Динамические модели биологических процессов. Линейные и нелинейные процессы. Методы качественной теории дифференциальных уравнений в анализе динамических свойств биологических процессов. Понятие о фазовой плоскости и фазовом портрете системы. Временная иерархия и принцип "узкого места" в биологических системах. Управляющие параметры. Быстрые и медленные переменные.

Стационарные состояния биологических систем. Множественность стационарных состояний. Устойчивость стационарных состояний. Модели триггерного типа. Силовое и параметрическое переключение триггера. Гистерезисные явления. Колебательные процессы в биологии. Автоколебательные режимы. Предельные циклы и их устойчивость.

Кинетика простейших ферментативных реакций. Условия реализации стационарности. Уравнение Михаэлиса-Ментен. Влияние модификаторов на кинетику ферментативных реакций. Общие принципы анализа сложных ферментативных реакций.

Способы математического описания пространственно неоднородных систем. Представления о пространственно неоднородных стационарных состояниях (диссипативных структурах) и условиях их образования.

Тема 2. Термодинамика биологических процессов

Классификация термодинамических систем. Первый и второй законы термодинамики в биологии. Расчеты энергетических эффектов реакций в биологических системах. Характеристические функции и их использование в анализе биологических процессов.

Изменение энтропии в открытых системах. Постулат Пригожина. Термодинамические условия осуществления стационарного состояния. Связь между величинами химического сродства и скоростями реакций. Термодинамическое сопряжение реакций и тепловые эффекты в биологических системах.

Основы линейной неравновесной термодинамики. Понятие обобщенных сил и потоков. Линейные соотношения и соотношения взаимности Онзагера. Термодинамика транспортных процессов. Стационарное состояние и условия минимума скорости прироста энтропии. Теорема Пригожина. Применение линейной термодинамики в биологии. Термодинамические характеристики молекулярно-энергетических процессов в биосистемах.

Нелинейная термодинамика. Общие критерии устойчивости стационарных состояний и перехода к ним вблизи и вдали от равновесия.

Связь энтропии и информации в биологических системах.

Тема 3. Молекулярная биофизика. Пространственная организация биополимеров

Макромолекула как основа организации биоструктур. Пространственная конфигурация биополимеров. Статистический характер конформации биополимеров.

Условия стабильности конфигурации макромолекул. Фазовые переходы. Переходы глобула-клубок. Кооперативные свойства макромолекул. Типы объемных взаимодействий в белковых макромолекулах: водородные связи, силы Ван-дер-Ваальса, электростатические взаимодействия. Поворотная изомерия и энергия внутреннего вращения. Расчет общей конформации энергии биополимеров. Факторы стабилизации макромолекул, надмолекулярных структур и биомембран.

Взаимодействие макромолекул с растворителем. Состояние воды и гидрофобные взаимодействия в биоструктурах. Переходы спираль-клубок.

Особенности пространственной организации белков и нуклеиновых кислот. Модели фибриллярных и глобулярных белков.

Методы определения пространственной структуры биополимеров (дифракционные методы, спектроскопия ядерного магнитного резонанса (ЯМР), электронная микроскопия).

Тема 4. Молекулярная биофизика. Динамика и электронные свойства биополимеров

Структурные и энергетические факторы, определяющие динамическую подвижность белков. Гиперповерхности уровней конформационной энергии.

Методы изучения конформационной подвижности: изотопный обмен, люминесцентные методы, спектроскопия электронного парамагнитного резонанса (ЭПР), гамма-резонансная (Мёссбауэровская) спектроскопия, ЯМР, методы молекулярной динамики.

Результаты исследования конформационной подвижности. Ограниченная диффузия. Типы движения в белках. Иерархия амплитуд и времен релаксации конформационных движений. Связь характеристик конформационной подвижности

белков с их функциональными свойствами. Динамика электронно-конформационных переходов. Роль воды в динамике белков. Роль конформационной подвижности в функционировании ферментов и транспортных белков.

Электронные уровни в биополимерах. Основные типы молекулярных орбиталей и электронных состояний, π -электроны, энергия делокализации. Схема Яблонского для сложных молекул. Принцип Франка-Кондона и законы люминесценции. Люминесценция биологически важных молекул. Механизмы миграции энергии: индуктивно-резонансный, обменно-резонансный, экситонный. Природа гиперхромного и гипохромного эффектов.

Возбужденные состояния и трансформация энергии в биоструктурах. Перенос электрона в биоструктурах. Различные физические модели переноса электрона. Туннельный эффект. Туннелирование с участием виртуальных уровней. Электронно-конформационные взаимодействия и релаксационные процессы в биоструктурах.

Тема 5. Структура и функционирование биологических мембран

Мембрана как универсальный компонент биологических систем. Развитие представлений о структурной организации мембран. Характеристика мембранных белков, липидов и углеводов. Динамика структурных элементов мембраны. Белок-липидные взаимодействия. Вода как составной элемент биомембран.

Модельные мембранные системы. Монослой на границе раздела фаз. Бислойные мембраны. Протеолипосомы.

Физико-химические механизмы стабилизации мембран. Особенности фазовых переходов в мембранных системах. Вращательная и латеральная подвижность мембранных липидов, флип-флоп переходы. Подвижность мембранных белков. Влияние внешних (экологических) факторов на структурно-функциональные характеристики биомембран.

Тема 6. Электрические свойства биологических мембран. Мембранный транспорт. Возбудимые мембраны

Поверхностный заряд мембранных систем. Происхождение электрокинетического потенциала. Профиль электрического потенциала в мембране. Поверхностный, граничный, внутримембранный, дипольный потенциал.

Пассивный и активный транспорт веществ через биомембраны.

Транспорт неэлектролитов. Проницаемость мембран для воды. Простая диффузия. Связь проницаемости мембран с растворимостью проникающих веществ в липидах (правило Овертона). Облегченная диффузия. Транспорт сахаров и аминокислот через мембраны с участием переносчиков.

Транспорт электролитов. Электрохимический потенциал. Ионное равновесие на границе мембрана-раствор. Профили потенциала и концентрации ионов в двойном электрическом слое. Равновесие Доннана. Пассивный транспорт: движущие силы переноса ионов. Электродиффузионное уравнение Нернста-Планка. Уравнения постоянного поля для потенциала и ионного тока. Проницаемость и проводимость. Соотношение односторонних потоков (соотношение Уссинга).

Потенциал покоя, его происхождение. Активный транспорт. Электрогенный транспорт ионов. Участие АТФаз в активном транспорте ионов через биологические мембраны. Механизм функционирования Na^+/K^+ -АТФазы (схема Поста-Альбертса).

Ионные каналы. Теория одnorядного транспорта. Ионофоры: переносчики и каналобразующие агенты. Ионная селективность мембран (термодинамический и кинетический подходы). Модель параллельно функционирующих пассивных и активных путей переноса ионов.

Роль ионов Na^+ и K^+ в генерации потенциала действия в нервных и мышечных клетках. Роль ионов Ca^{2+} и Cl^- в генерации потенциала действия у растений. Кинетика изменения потоков ионов при возбуждении. Механизмы активации и инактивации каналов. Описание ионных токов в модели Ходжкина-Хаксли. Воротные токи.

Распространение возбуждения. Кабельные свойства нервных волокон. Проведение импульса по немиелиновым и миелиновым волокнам. Математические модели процесса распространения нервного импульса. Физико-химические процессы в нервных волокнах при проведении рядов импульсов (ритмическое возбуждение). Энергообеспечение процессов распространения возбуждения. Основные понятия теории возбудимых сред.

Тема 7. Механизмы трансформации энергии в первичных фотобиологических процессах. Фотосинтез

Структурная организация и функционирование фотосинтетических мембран. Фотосинтетическая единица. Два типа пигментных систем и две световые реакции. Организация и функционирование фотореакционных центров. Проблемы первичного акта фотосинтеза. Электронно-конформационные взаимодействия. Фотоконформационный переход.

Кинетика и физические механизмы переноса электрона в электрон-транспортных цепях при фотосинтезе. Механизмы сопряжения окислительно-восстановительных реакций с трансмембранным переносом протона. Механизмы фотоингибирования.

Особенности и механизмы фотоэнергетических реакций бактериородопсина и зрительного пигмента родопсина.

Тема 8. Молекулярные механизмы энергетического сопряжения

Связь транспорта ионов и процесса переноса электрона в хлоропластах и митохондриях. Локализация электронтранспортных цепей в мембране. Структурные аспекты функционирования связанных с мембраной переносчиков.

Основные положения теории Митчелла. Электрохимический градиент протонов и протондвижущая сила. Энергезированное состояние мембран. Роль векторной H^+ -АТФазы. Сопрягающие комплексы, их локализация в мембране. Функции отдельных субъединиц. Конформационные перестройки в процессе образования макроэрга.

Протеолипосомы как модель для изучения механизма энергетического сопряжения. Бактериородопсин как молекулярный фотоэлектрический генератор. Физические аспекты и модели энергетического сопряжения.

Тема 9. Фотобиофизика. Фоторегуляторные и фотодеструктивные процессы. Окислительный стресс

Взаимодействие квантов с молекулами. Первичные фотохимические реакции.

Основные стадии фотобиологических процессов. Механизмы фотобиологических и фотохимических стадий. Кинетика фотобиологических процессов.

Основные типы фоторегуляторных реакций растительных и микробных организмов: фотоморфогенез, фототропизм, фототаксис, фотоиндуцированный каротиногенез. Спектры действия. Природа фоторецепторных систем. Механизмы первичных фотореакций.

Фитохром – универсальная фоторецепторная система регуляции метаболизма растений. Молекулярные свойства и спектральные характеристики фитохрома. Механизм обратимой фотоконверсии двух форм фитохрома. Понятие о фитохромных молекулах и фитохромном механизме фотоактивации ферментов.

Фотохимические реакции в белках, липидах и нуклеиновых кислотах. ДНК как основная внутриклеточная мишень при летальном и мутагенном действии ультрафиолетового света. Фотосенсибилизированные реакции при повреждении ДНК. Механизмы фотодинамических процессов. Эффекты фоторепарации и фотозащиты. Ферментативный характер и молекулярный механизм фотореактивации. Роль фотоиндуцированного синтеза биологически активных соединений в процессе фотозащиты. Механизм фотосинергетических реакций при комбинированном действии разных длин волн ультрафиолетового света.

Окислительный стресс. Молекулярные механизмы повреждающего действия кислорода. Пути световой и темновой активации молекулярного кислорода. Ферментативные и неферментативные реакции. Роль свободно-радикальных реакций и синглетного кислорода. Методы изучения окислительных деструктивных процессов в биологических системах. Природные фотосенсибилизаторы фотодеструктивных процессов. Свободные радикалы при цепных реакциях окисления липидов в мембранах и других клеточных структурах.

Тема 10. Предмет и основные положения экологической биофизики

Адаптация, устойчивость и надежность биологических систем разного уровня организации: клеток, организмов, популяций. Разнообразие ответных реакций индивидуумов в клеточных ансамблях и популяциях. Динамика энерго-массо обмена. Прогнозирование динамики численности популяции.

Классификация воздействий. Слабые (фоновые) воздействия. Космические и периодические воздействия. Естественный радиационный фон и уровень радона в среде. Проблема озоновой дыры. ЭМ-излучения космических и земных источников. Магнитные поля Солнца, звезд, галактик и других объектов Вселенной. Циклы Солнечной активности, их влияние на Землю. Свет и биоритмы. Биологические часы.

Действие оптического излучения. Фотосинтез в море. Причины лимитирования первичной продукции. Фотоингибирование и фотодеструкция. Фоторегуляция роста растения. Оптические свойства листьев высших растений и спектральные методы оценки функционального состояния фотосинтетического аппарата.

Молекулярные механизмы адаптации живых организмов к экстремальным факторам внешней среды (температурам, освещению, засолению, действию ксенобиотиков, гипоксии и гипероксии).

Тема 11. Радиационная биофизика

Виды ионизирующих излучений, их происхождение, взаимодействие с веществом. Основные физические свойства. Понятие дозы ионизирующего излучения. Основные радиационные факторы, определяющие радиобиологические эффекты. Основные биологические факторы, определяющие радиобиологические эффекты. Радиационные синдромы у млекопитающих, продолжительность жизни после облучения. Лучевая болезнь человека.

Понятие детерминированных и стохастических, соматических и генетических эффектов облучения. Радиочувствительность клеток на разных стадиях клеточного цикла. Прямое и косвенное (непрямое) действие ионизирующего излучения. Радиолит воды. Химическая модификация лучевого поражения. Кислородный эффект в радиобиологии. Противолучевые химические средства.

Биологические эффекты малых доз ионизирующих излучений. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009). Вклад различных источников ионизирующего излучения в облучение человека в современном мире.

6.2. Методические указания для обеспечения самостоятельной работы студентов

Для закрепления и систематизации полученных знаний рекомендуется самостоятельное чтение и проработка обязательной и дополнительной литературы, составление конспекта. Для подготовки к контрольным работам рекомендуется самостоятельное выполнение упражнений и решение задач.

После выполнения каждой практической задачи студент должен самостоятельно подготовить письменный отчет, включающий название задачи, изложение принципа освоенного метода, описание установки, на котором проводилось исследование. В отчете также должна быть указана цель каждого из выполненных заданий, представлен подробный протокол всех этапов исследования (ход выполнения каждого упражнения), включающий полученные результаты (таблицы, графики), сформулированы выводы.

7. Фонд оценочных средств для оценивания результатов обучения по дисциплине:

7.1. Перечень оценочных средств

| Компетенция | Результат обучения по дисциплине (модулю) | Оценочные средства |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>УК-2. Способен в контексте профессиональной деятельности использовать знания об основных понятиях и методах естествознания.</p> | <p>Знает:</p> <ul style="list-style-type: none"> • законы термодинамики в применении к биологическим системам; • основные принципы, определяющие электронные свойства, пространственную структуру биополимеров и их конформационную подвижность; • структурную организацию биологических мембран, их физико-химические свойства и особенности динамического поведения; • механизмы транспорта веществ через биомембраны, молекулярное строение и механизмы функционирования систем мембранного транспорта (каналов, переносчиков, насосов); • механизмы генерации и распространения возбуждения в клетках; • молекулярные механизмы процессов энергетического сопряжения (фотосинтетические и дыхательные процессы); • основные закономерности действия света на биологические системы; | <ul style="list-style-type: none"> • Вопросы для текущей и промежуточной аттестации (тестирование, экзамен) • Выполнение лабораторных работ и подготовка письменных отчетов, решение биофизических задач |

| | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | <ul style="list-style-type: none"> • физико-химические механизмы фотоэнергетических, фоторегуляторных и фотодеструктивных процессов; • молекулярные механизмы действия ионизирующих и неионизирующих излучений на биологические системы; • физические основы использования ионизирующих и неионизирующих излучений в медицине. <p>Умеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> • применять физические методы для изучения биологических систем на различных уровнях организации живого. <p>Владеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> • навыками работы на современном научном оборудовании. | |
| <p>УК-7. Способен использовать современные информационно-коммуникационные технологии в академической и профессиональной сферах.</p> | <p>Знает:</p> <ul style="list-style-type: none"> • приёмы, способы и методы применения средств вычислительной техники при выполнении функций сбора, хранения, обработки, передачи и использования данных. <p>Умеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> • проводить поиск научной литературы по заданной тематике, в том числе с использованием баз данных профессионального назначения; • осуществлять критический анализ и синтез полученной информации; • формулировать цель и конкретные задачи сбора имеющейся научной информации и планируемых собственных исследований. <p>Владеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> • навыками самостоятельного приобретения и использования в практической деятельности новых знаний и умений, обеспечивающих | <ul style="list-style-type: none"> • Вопросы для текущей и промежуточной аттестации (тестирование, экзамен) • Выполнение лабораторных работ и подготовка письменных отчетов, решение биофизических задач |

| | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | <p>осуществление инновационных подходов к решению исследуемых научных проблем.</p> | |
| <p>ОПК-1. Способен применять знание о разнообразии, развитии и эволюции биологических объектов различных уровней организации для решения профессиональных задач в полевых и лабораторных условиях, в том числе с привлечением современных методов структурной биологии, биоинформатики, математического и молекулярного моделирования; способен понимать значение биоразнообразия для устойчивости биосферы.</p> | <p>Знает:</p> <ul style="list-style-type: none"> • основные особенности кинетики биологических процессов, принципы построения математических моделей биологических систем; • основные принципы, определяющие электронные свойства, пространственную структуру биополимеров и их конформационную подвижность; • методы определения пространственной структуры и параметров конформационной динамики биомакромолекул. <p>Умеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> • применять методы качественной теории дифференциальных уравнений в анализе динамических свойств биологических процессов. <p>Владеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> • навыками построения и валидации математических моделей биологических систем. | <ul style="list-style-type: none"> • Вопросы для текущей и промежуточной аттестации (тестирование, экзамен) • Выполнение лабораторных работ и подготовка письменных отчетов, решение биофизических задач |
| <p>ОПК-2. Способен планировать и проводить биологические эксперименты, наблюдение, описание, идентификацию, классификацию и культивирование биологических объектов, опираясь на знание их структурной и функциональной организации,</p> | <p>Знает:</p> <ul style="list-style-type: none"> • фундаментальные теоретические основы биофизических методов и их возможностях для решения биологических и биофизических задач <p>Умеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> • применять физические и математические методы для изучения биологических систем на различных уровнях организации живого <p>Владеет навыками:</p> <ul style="list-style-type: none"> • самостоятельного выбора, освоения или разработки экспериментальных методов (биофизических, | <ul style="list-style-type: none"> • Вопросы для текущей и промежуточной аттестации (тестирование, экзамен) • Выполнение лабораторных работ и подготовка письменных отчетов, решение биофизических задач |

| | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>механизмов жизнедеятельности, используя современное оборудование, информационные технологии и профессиональные базы данных, физико-химические методы и методы моделирования, соблюдая требования биоэтики, техники безопасности и информационной безопасности;</p> | <p>биохимических, радиобиологических, расчетных и др.), необходимых для выполнения планируемых исследований</p> <ul style="list-style-type: none"> • обработки экспериментальных результатов и составления научных отчетов по результатам экспериментальных исследований. | |
| <p>ОПК-3. Способен использовать знание современных теоретических и методических подходов математики и естественных наук для решения междисциплинарных задач в сфере профессиональной деятельности.</p> | <p>Знает:</p> <ul style="list-style-type: none"> • общие принципы построения математических моделей биологических систем. <p>Умеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> • применять физические законы для описания процессов, происходящих в биологических системах. <p>Владеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> • навыками формулировать и анализировать простые математические модели биологических процессов. | <ul style="list-style-type: none"> • Вопросы для текущей и промежуточной аттестации (тестирование, экзамен) • Выполнение лабораторных работ и подготовка письменных отчетов, решение биофизических задач |
| <p>ОПК-10. Способен разрабатывать и использовать методы экологического мониторинга, опираясь на подходы биоиндикации и биотестирования.</p> | <p>Знает:</p> <ul style="list-style-type: none"> • основные аспекты экологии фотосинтеза и путей использования реакций фотоавтотрофных организмов в экологическом мониторинге; • спектральные методы оценки функционального состояния фотосинтетического аппарата. <p>Умеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> • работать на современном научном оборудовании, используемом для оценки состояния фотосинтетического аппарата у растительных | <ul style="list-style-type: none"> • Вопросы для текущей и промежуточной аттестации (тестирование, экзамен) • Выполнение лабораторных работ и подготовка письменных отчетов, решение биофизических задач |

| | | |
|--|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| | <p>объектов.</p> <p>Владеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> • навыками оценки состояния водной и наземной среды с помощью флуоресцентных измерений. | |
|--|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|

7.2. Типовые задания и иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения

Примерные задания текущего контроля успеваемости

Образцы вопросов устного опроса и домашних заданий:

1. Что такое особая точка?
2. Какие существуют типы особых точек?
3. Как качественно исследовать систему дифференциальных уравнений?
4. Чем отличается предельный цикл от центра?
5. Каковы условия возникновения предельного цикла?
6. Как определяется состояние равновесия в термодинамике?
7. Какое состояние мы называем динамическим равновесием?
8. Как соотносится понятие особой точки и состояния динамического равновесия?
9. Получите выражения для следа и определителя матрицы линеаризованных коэффициентов в зависимости от параметра.
10. При изучении кинетики гидролиза ацетилхолина, катализируемого ацетилхолинэстеразой, было показано, что ферментативная реакция ингибируется субстратом с константой диссоциации неактивного тройного комплекса ES_2 , равной $3,2 \cdot 10^{-2}$ М. Найдите значение концентрации субстрата, при которой скорость ферментативной реакции достигает максимального значения в условиях эксперимента, если величина константы Михаэлиса, найденная при использовании низких концентраций субстрата, равна $2,6 \cdot 10^{-4}$ М.
11. Сформулируйте закон Гесса. Каковы условия его выполнения?
12. Дайте определение химического и электрохимического потенциала.
13. Найдите концентрацию АДФ в гепатоцитах крысы при 298 К, если известно, что концентрации АТФ и фосфата равны 3,38 мМ и 4,8 мМ соответственно. ΔG° реакции гидролиза $АТФ \Leftrightarrow АДФ + Ф_i$ при 298 К составляет -30,5 кДж/моль, $\Delta G'$ равно -46,05 кДж/моль.
14. Найдите концентрацию АТФ в миоцитах крысы при 298 К, если известно, что концентрации АДФ и фосфата равны 0,93 мМ и 8,05 мМ соответственно. ΔG° реакции гидролиза $АТФ \Leftrightarrow АДФ + Ф_i$ при 298 К составляет -30,5 кДж/моль, $\Delta G'$ равно -47,79 кДж/моль.
15. Какие методы используются для определения пространственной структуры белков? Каковы преимущества и недостатки этих методов?
16. Как явление люминесценции используется для изучения конформационной подвижности белков?
17. Что такое спектр поглощения?
18. Чем отличаются синглетные и триплетные состояния биомолекул?
19. Как влияют разобщители на транспорт электронов и градиент рН в мембранах хлоропластов и митохондрий?
20. Что служит причиной возникновения градиента рН на тилакоидных мембранах хлоропластов при их функционировании?
21. Как изменится при освещении редокс-потенциал среды в суспензии хлоропластов, содержащей феррицианид калия в качестве акцептора электронов?

22. Какое действие на замедленную флуоресценцию фотосинтезирующих систем вызывает наложение внешнего электрического поля?
23. Какое влияние оказывают разобщители на стационарный уровень миллисекундного компонента замедленной флуоресценции фотосинтетического аппарата?
24. Дайте определение потенциала действия и опишите его свойства.
25. Как можно отличить потенциал действия от других изменений электрического потенциала в клетках (пассивного ответа, переменного потенциала)?
26. Какие клетки животных и растений способны к генерации потенциала действия? Зачем нужен потенциал действия животным и растениям?
27. Как изменяется чувствительность ЭПР-измерений с увеличением напряженности постоянного магнитного поля?
28. Какая формула описывает условие электронного парамагнитного резонанса?
29. Какая формула описывает условие ядерного магнитного резонанса?
30. Что означают термины активация и дезактивация? Инактивация и дезинактивация?
31. Рассчитать эффективную дозу, полученную человеком, у которого всё тело было равномерно облучено γ -излучением в дозе 0,1 Гр, а некоторые органы подверглись дополнительному облучению: легкие – α -излучением в дозе 0,02 Гр, а щитовидная железа – β -излучением в дозе 0,06 Гр и γ -излучением в дозе 0,04 Гр.
32. Альфа-распад, альфа-излучатели. Почему альфа-излучатели не используют в качестве метки?
33. Ограничения метода жидкостной сцинтилляции. Явление гашения.
34. Единицы радиоактивности
35. Рассчитайте активность в образце изотопа по прошествии 6 периодов полураспада, если в настоящее время активность составляет 2 мкКи
36. Виды бета-излучения; энергетический спектр бета-излучения. Мягкие и жесткие бета-излучатели. Средняя и максимальная энергия. Взаимодействие с веществом.
37. Применение радиоизотопов в биологии. Биологически значимые изотопы.
38. Удельная активность, изменение удельной активности во времени.
39. Рассчитайте эффективный период полувыведения соединения, содержащего ^{32}P , если его период полураспада $T_{1/2} = 14,22$ суток, а период полувыведения $T_{\sigma} = 0,5$ сут.
40. Поправки при работе с газоразрядным счетчиком. Геометрия счета, эффективный путь, обратное рассеяние, самопоглощение, схема распада, поправка на гамма-фон.
41. Методы коррекции гашения в жидкостной сцинтилляции.
42. Закон радиоактивного распада. Дифференциальный вид, интегральный вид, связь постоянной радиоактивного распада с периодом полураспада. Введение поправки на радиоактивный распад в эксперименте
43. Рассчитайте на каком расстоянии интенсивность гамма-излучения уменьшится в 4 раза, если $J_0 = 1000$ КБк, линейный коэффициент поглощения $\mu = 0,031$ см $^{-1}$.
44. Раствор 5 мг цитохрома *c* в 1 мл воды имеет осмотическое давление 1,03 кПа при 25°C. Определите молекулярную массу цитохрома *c*.

**Примерные задания промежуточной аттестации
(вопросы экзамена)**

1. Линейные и нелинейные уравнения в математических моделях биологических процессов.
2. Временная иерархия и принцип “узкого места” в биологических системах. Примеры. Управляющие параметры. Быстрые и медленные переменные.
3. Модели распределенных систем в биологии. Уравнение диффузии.
4. Биологические триггеры. Силовое и параметрическое переключение триггера. Гистерезисные явления. Примеры.
5. Автоколебательные режимы. Колебания в гликолизе.
6. Представления о пространственно неоднородных стационарных состояниях (диссипативных структурах) и условия их образования.
7. Распределенные динамические модели.
8. Динамический хаос. Фракталы.
9. Вывод уравнения Михаэлиса-Ментен. Методы определения константы Михаэлиса и максимальной скорости. Конкурентное и неконкурентное ингибирование. Ингибирование избытком субстрата.
10. Кинетика ферментативных реакций. Уравнение Михаэлиса-Ментен. Множественность стационарных состояний и колебания в ферментативных системах.
11. Первый и второй законы термодинамики в биологии. Характеристические функции и их использование в анализе биологических процессов. Расчеты энергетических эффектов реакций в биологических системах.
12. Изменение энтропии в открытых системах. Постулат Пригожина. Термодинамические условия осуществления стационарного состояния. Примеры.
13. Линейная неравновесная термодинамика. Обобщенные силы и потоки. Соотношения Онзагера. Термодинамика транспортных процессов.
14. Связь энтропии и информации в биологических системах.
15. Стационарное состояние и условия минимума скорости прироста энтропии. Теорема Пригожина.
16. Типы объемных взаимодействий. Критерии устойчивости макромолекул.
17. Временные характеристики динамической подвижности белков.
18. Конформационная подвижность белков. Иерархия амплитуд и времен конформационных движений. Связь характеристик конформационной подвижности белков с их функциональными свойствами.
19. Роль конформационной подвижности в функционировании белков. Электронно-конформационные взаимодействия. Роль воды в динамике белков.
20. Молекулярные моторы. H^+ -АТФаза.
21. Типы объемных взаимодействий в белковых макромолекулах. Водородные связи, силы Ван-дер-Ваальса, электростатические взаимодействия, поворотная изомерия и энергия внутреннего вращения. Общая конформационная энергия биополимеров.
22. Механизмы ферментативного катализа. Электронно-конформационные взаимодействия в фермент-субстратном комплексе.
23. Разделение зарядов и перенос электрона в первичных стадиях фотосинтеза. Роль электронно-конформационных взаимодействий.
24. Перенос электрона в биологических системах. Физические модели переноса электрона. Туннельный эффект.
25. Поверхностный заряд мембраны. Распределение ионов и толщина двойного электрического слоя. Происхождение электрокинетического потенциала. Влияние pH и ионного состава среды на поверхностный потенциал.

26. Пассивный транспорт. Движущие силы переноса ионов. Электродиффузионное уравнение Нернста-Планка. Уравнения постоянного поля для потенциала и ионного тока. Проницаемость и проводимость. Соотношение односторонних потоков (соотношение Уссинга).
27. Транспорт электролитов. Электрохимический потенциал. Ионное равновесие на границе мембрана-раствор (для мембраны с фиксированными зарядами). Профили потенциала и концентрации ионов в двойном электрическом слое.
28. Транспорт неэлектролитов. Коэффициент диффузии (уравнение Стокса-Эйнштейна). Простая диффузия. Законы Фика. Связь проницаемости мембран с растворимостью проникающих веществ в липидах (правило Овертона). Облегченная диффузия. Кинетика поступления вещества в клетки.
29. Потенциал покоя, его происхождение и интерпретация на основе эквивалентной электрической схемы мембраны. Равновесные потенциалы для ионов K и Na.
30. Проницаемость мембран для воды. Закон Вант-Гоффа. Осмотические свойства клеток и органелл. Движущие силы транспорта воды. Капиллярное поднятие воды.
31. Основные положения теории Митчела. Электрохимический градиент протонов. Энергизированное состояние мембран. Мембранный потенциал митохондрий, хлоропластов и хроматофоров бактерий. Роль H⁺-АТФазы.
32. Активный транспорт натрия, калия и кальция. Транспорт протонов в энергосопрягающих мембранах (по Митчеллу). Схема функционирования Na⁺/K⁺-насоса (схема Поста-Альбертса).
33. Электродиффузионная теория транспорта ионов через мембраны. Электрохимический потенциал и его компоненты. Взаимодействие ионов с растворителем (формула Борна). Диффузионный потенциал. Уравнения для ионных потоков и мембранного потенциала.
34. Физические механизмы действия ионофоров: переносчики и каналы. Примеры.
35. Формы активированного кислорода и их реакционная способность.
36. Свойства возбудимости нервных клеток и типы ответов на деполяризующий ток.
37. Механизмы генерации форм активированного кислорода в клетке.
38. Свойства амфифильных молекул. Структура и свойства мембранных липидов. Динамика структурных элементов мембраны. Белок-липидные взаимодействия. Вода как элемент биомембраны.
39. Свободные радикалы в процессах перекисного окисления липидов.
40. Описание ионных токов и основные допущения в формализме Ходжкина-Хаксли.
41. Возможность образования синглетного кислорода в клетках.
42. Дозовая зависимость продолжительности жизни млекопитающих при действии ионизирующего излучения. Синдромы острого лучевого поражения. Понятие критических органов и тканей. Острая лучевая болезнь человека.
43. Образование свободных радикалов в клетках при действии неблагоприятных факторов среды.
44. Физико-химические механизмы стабилизации мембран. Фазовые переходы в мембранных системах. Подвижность мембранных белков.
45. Активные формы кислорода в защите от инфекций и в иммунном ответе клеток.
46. Химическая модификация лучевого поражения. Радиосенсибилизаторы и радиопротекторы, основной показатель их эффективности. Кислородный эффект и его механизм. Возможные механизмы действия радиопротекторов. Примеры радиопротекторов.
47. Механизмы защиты от форм активированного кислорода в клетке. Ферментные системы, антиоксиданты и каротиноиды.
48. Упрощенные модели возбудимости нейронов: основные типы моделей. Обобщенная модель integrate-and-fire.

49. Основные стадии фотобиологических процессов. Механизмы фотохимических и фотобиологических реакций
50. Дозы ионизирующих излучений (экспозиционная, поглощенная, эквивалентная, эффективная) и их единицы. Мощность дозы.
51. Молекулярные механизмы повреждающего действия экологического УФ-излучения. Фотозащита и фотореактивация.
52. Дозовые кривые выживаемости облученных клеток. Теория мишени. Основные модели клеточной гибели, основанные на теории мишени. Линейно-квадратичная модель клеточной гибели.
53. Повреждающее и регуляторное действие света видимого диапазона. Сенсibiliзаторы. Фотодинамическое действие.
54. Прямое и не прямое действие ионизирующих излучений. Радиолиз воды. Эффект Дейла. Радиационно-индуцированные окислительные процессы.
55. Первичные процессы фотосинтеза. Структурная организация и функционирование фотосинтетических мембран.
56. Структура и состав биологических мембран. Многообразие мембранных белков и липидов.
57. Роль миграции энергии, туннельного механизма переноса электрона и электронно-конформационных взаимодействий в процессах фотосинтеза.
58. Модельные мембранные системы. Полиморфизм липидов. Бислойные липидные мембраны. Липосомы и их применение.
59. Механизмы регуляции процессов фотосинтеза при облучении организма светом различной интенсивности и спектрального состава.
60. Взаимодействия низкомолекулярных соединений с мембранами.
61. Фитохромы: доменная структура, спектроскопические свойства и фотохимия билиновых хромофоров.
62. Влияние внешних экологических факторов на структурно-функциональную организацию биомембран.
63. Криптохромы и фотолиазы: структура, функции и фотоциклы ФАД-хромофора.
64. Виды ионизирующих излучений. Общая физическая характеристика. Граница между ионизирующим и неионизирующим электромагнитным излучением.
65. Формы активированного кислорода и их реакционная способность.
66. Основные радиационные факторы и биологические факторы, определяющие радиобиологические эффекты. Понятие радиочувствительности.

Практические занятия

В данном разделе описаны практические и лабораторные работы по различным темам курса. Описание каждой работы содержит перечень теоретических вопросов, которые рассматриваются на занятии перед выполнением практической задачи.

Тема 1. Кинетика биологических процессов

Практические задачи по теме выполняются на компьютере.

Практическая задача «Моделирование внутриклеточных колебаний кальция»

Модель внутриклеточных колебаний кальция. Бифуркация Андронова-Хопфа. Автоколебания. Фазопараметрическая диаграмма.

В рамках задачи рассматривается модель выхода кальция из внутриклеточных депо и его обратной закачки, исследуются бифуркации и колебания, возникающие в этой системе.

Практическая задача «Кинетика ферментативных реакций»

Модель субстратного ингибирования. Вывод уравнения скорости. Определение механизма реакции по экспериментальным данным. Гистерезис.

В рамках задачи рассматривается механизм субстратного ингибирования, обсуждаются методы определения механизма реакции по экспериментальным данным и явление гистерезиса в математических моделях.

Тема 2. Термодинамика биологических процессов

Лабораторная работа «Свободная энергия денатурации лизоцима в присутствии мочевины»

Условие химического равновесия. Химические потенциалы и свободная энергия химической реакции. Гидрофобные взаимодействия. Кооперативные переходы в белках. Денатурация белков и её обратимость. Проблема самоорганизации белка. Парадокс Левинтала.

В задаче исследуется зависимость константы равновесия процесса нативный белок \rightleftharpoons денатурированный белок K от концентрации денатурирующего агента – мочевины. Отношение концентраций нативной и денатурированной форм определяется по величине интенсивности флуоресценции белка в ультрафиолетовом диапазоне, связанной с остатками аминокислоты триптофана. Экстраполяция зависимости ΔG° ($\Delta G^\circ = -RT \ln K$) от концентрации мочевины к её нулевому значению позволит определить «истинную» свободную энергию денатурации. Этот термодинамический параметр определяется вкладами слабых (нековалентных) межатомных взаимодействий, поддерживающих нативную конформацию белка.

Тема 4. Молекулярная биофизика. Динамика и электронные свойства биополимеров

Практическая задача «Моделирование спектров электронных переходов молекул методами вычислительной квантовой химии» выполняется на компьютере.

Принципы квантовой механики. Параметры молекулярных систем: внутренние координаты ядерного остова, заряд и мультиплетность молекул. Уравнение Шрёдингера; стационарное уравнение Шрёдингера. Волновая функция состояния, коллапс волновой функции; действие операторов физических величин на волновую функцию и наблюдаемые. Принципы построения и волновой функции молекулярной системы (МО ЛКАО). Волновая функция основного электронного состояния; волновая функция возбужденного электронного состояния; квантовый характер и вероятность перехода между волновыми функциями состояний; связь электронных переходов и спектральных свойств молекулярных систем.

Объектом исследования является молекула фенолфталеина, для которой характерно драматическое изменение спектральных свойств при относительно малых изменениях ядерного остова, что удобно в условиях ограниченного времени на проведение описанной задачи практикума. Фактически исследуемая молекулярная система может быть любой (при условии ограничения на ее размер, продиктованного ограниченными вычислительными ресурсами) в зависимости от научных интересов каждого студента, выполняющего практикум.

Тема 6. Электрические свойства биологических мембран. Мембранный транспорт. Возбудимые мембраны

Лабораторная работа «Исследование возбудимости клеток харовых водорослей»

Эквивалентная электрическая схема мембраны. Пассивные электрические характеристики клеточной мембраны: ёмкость и сопротивление. Потенциал покоя.

Явление возбудимости. Потенциал действия. Ионные механизмы генерации потенциала действия.

В задаче исследуются методом внеклеточного отведения электрических потенциалов пассивные и активные электрические свойства мембраны клеток водоросли *Chara corallina*.

Практическая задача «Электрические свойства возбудимых клеток» выполняется на компьютере

Потенциал покоя. Уравнение Нернста. Приближение постоянного поля. Уравнение Гольдмана-Ходжкина-Катца. Проницаемость и проводимость мембраны. Потенциал действия. Ионные каналы. Активация, дезактивация, инактивация. Рефрактерность. Методы фиксации потенциала и тока. Описание ионных токов в модели Ходжкина-Хаксли.

В задаче используется точечная модель, в которой все ионные токи пересекают мембрану на одном участке и не рассматриваются процессы переноса ионов вдоль клетки. Моделируется потенциал покоя (ПП) и пассивные электрические свойства мембраны возбудимой клетки, исследуется влияние изменения концентраций ионов на ПП. Во второй части задачи исследуются активные свойства мембраны (генерация потенциала действия, ионные токи при фиксации мембранного потенциала).

Тема 7. Механизмы трансформации энергии в первичных фотобиологических процессах. Фотосинтез

Лабораторная работа «Замедленная флуоресценция зеленых растений»

Цепь транспорта электронов хлоропластов. Природа замедленной флуоресценции зеленых растений. Различия быстрой и замедленной флуоресценции фотосинтетического аппарата. Влияние трансмембранного электрохимического градиента протонов на замедленную флуоресценцию.

В работе используются методы регистрации кинетики затухания (в секундном диапазоне) и кривых индукции (в миллисекундном диапазоне) замедленной флуоресценции фотосинтетического аппарата. Объектом исследования являются листовые пластинки гороха.

Тема 8. Молекулярные механизмы энергетического сопряжения

Лабораторная работа «Фотоиндуцированные изменения рН и редокс-потенциала в суспензии фотосинтезирующих организмов»

Основные положения хемиосмотической теории Митчелла. Генерация градиента электрохимического потенциала протонов на сопрягающих мембранах. Протондвижущая сила. H^+ -АТФ-синтаза. Окислительное и фотофосфорилирование. Разобщители. Измерение величины рН с помощью стеклянного электрода. Редоксметрический электрод. Хлорсеребряный электрод сравнения.

В задаче исследуется влияние редокс-медиаторов и искусственных акцепторов электронов на фотоиндуцированные изменения величин рН и окислительно-восстановительного потенциала в гомогенате листьев гороха.

Тема 9. Фотобиофизика. Фоторегуляторные и фотодеструктивные процессы. Окислительный стресс

Лабораторная работа «Спектры поглощения биомолекул»

Поглощение света биомолекулами. Коэффициенты пропускания и поглощения. Оптическая плотность. Количественный фотометрический анализ. Блок-схема спектрофотометра. Спектр поглощения. Искажение спектров поглощения в биологических образцах (светорассеяние, эффект «сита»).

С помощью установки для регистрации спектров поглощения на основе оптического многоканального анализатора исследуются спектры поглощения гемоглобина и хлорофилла в растворе и суспензии клеток. Полученные спектры корректируются на светорассеяние.

Лабораторная работа «Изучение спектров флуоресценции и кинетики индукции флуоресценции фотосинтезирующих организмов»

Флуоресценция и фосфоресценция. Диаграмма Яблонского. Законы флуоресценции. Квантовый выход флуоресценции. Спектры испускания и возбуждения флуоресценции. Блок-схема спектрофлуориметра. Искажение спектров флуоресценции в биологических образцах (эффекты экранировки и реабсорбции флуоресценции). Явление индукции флуоресценции фотосинтетического аппарата.

Регистрируются спектры флуоресценции хлорофилла целого листа гороха и гомогенатов листьев с различной концентрацией. Исследуется зависимость индукционной кривой флуоресценции листа гороха от длительности темновой адаптации и от присутствия ингибиторов электрон-транспортной цепи фотосинтеза (диурона).

Тема 11. Радиационная биофизика

Явление изотопии. Характеристика ядерных излучений: α -, β - и γ - излучение. Особенности их взаимодействия с веществом. Виды β -излучения (позитронный и негатронный распады); энергетический спектр β -излучения, «мягкие» и «жесткие» β -излучатели. Характеристика β -излучателей, наиболее часто используемых в биологических экспериментах в качестве метки.

Закон радиоактивного распада, постоянная радиоактивного распада, период радиоактивного распада, внесение поправки на радиоактивный распад. Единицы радиоактивности (Кюри, Беккерель). Методы регистрации радиоактивности, основанные на ионизационном эффекте в газах; газоразрядные счетчики, особенности газоразрядных счетчиков Гейгера-Мюллера. Понятие об относительной и истинной активности в применении к счетчикам Гейгера-Мюллера. Методы определения эффективности при использовании счетчиков Гейгера-Мюллера, влияние условий измерения на величину относительной активности. Определение истинной активности радиоактивных препаратов.

Сцинтилляционные методы регистрации радиоактивности. Особенности устройства твердого сцинтиллятора (на примере кристалла NaI(Tl) + ФЭУ), его использование для регистрации γ - излучения. Основы метода жидкостной сцинтилляции; передача энергии в жидких сцинтилляционных смесях; эффективность метода жидкостной сцинтилляции. Схема жидкостного сцинтилляционного счетчика. Ограничения метода жидкостной сцинтилляции. Явление гашения в методе жидкостной сцинтилляции, виды гашения, методы внесения поправок на гашение. Определение эффективности счета и истинной активности образцов с использованием выбранного метода коррекции гашения, - счет одного и двух изотопов в одном образце.

Ситуационные кейс задания

1. Используя численные значения параметров, найдите координаты стационарных состояний, коэффициенты линеаризованной системы в окрестности каждого из стационарных состояний, значения корней характеристических уравнений. Определите тип каждого стационарного состояния, уравнения главных изоклин системы уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = p_1x - p_2xy - p_3x^2, \\ \frac{dy}{dt} = p_4y - p_5xy - p_6y^2. \end{cases}$$

Результат занесите в таблицу:

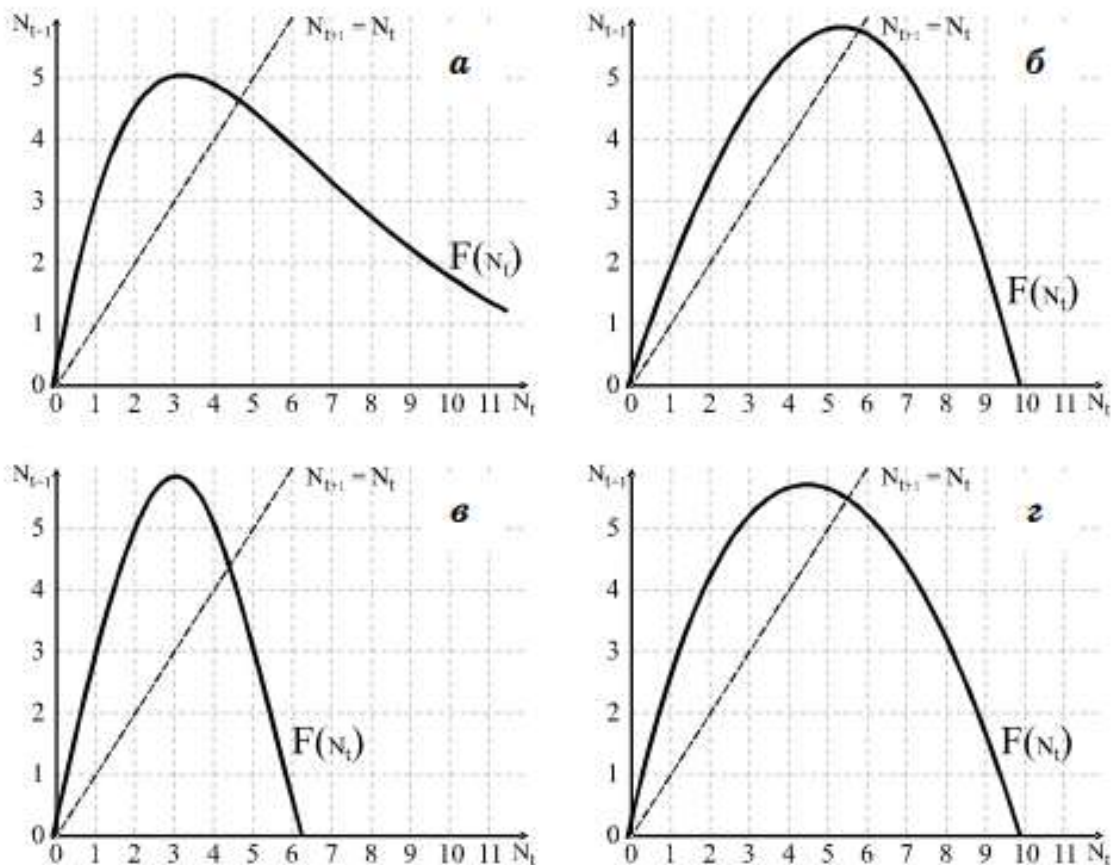
| Параметры | Координаты стационарных состояний и тип устойчивости | Коэффициенты линеаризованной системы | Уравнение изоклины | |
|------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------|----------------------------|
| | | | вертикальных касательных | горизонтальных касательных |
| $p_1 = 1$ $p_2 = 0.5$ $p_3 = 1$ $p_4 = 1$ $p_5 = 0.5$ $p_6 = 1$ | $\bar{x}_1 =$ $\bar{y}_1 =$ $\bar{x}_2 =$ $\bar{y}_2 =$ $\bar{x}_3 =$ $\bar{y}_3 =$ $\bar{x}_4 =$ $\bar{y}_4 =$ | | | |
| $p_1 = 1$ $p_2 = 0.5$ $p_3 = 1$ $p_4 = 0.5$ $p_5 = 1$ $p_6 = 1$ | $\bar{x}_1 =$ $\bar{y}_1 =$ $\bar{x}_2 =$ $\bar{y}_2 =$ $\bar{x}_3 =$ $\bar{y}_3 =$ $\bar{x}_4 =$ $\bar{y}_4 =$ | | | |
| $p_1 = 1$ $p_2 = 0.5$ $p_3 = 0.2$ $p_4 = 1$ $p_5 = 0.3$ $p_6 = 0.1$ | $\bar{x}_1 =$ $\bar{y}_1 =$ $\bar{x}_2 =$ $\bar{y}_2 =$ $\bar{x}_3 =$ $\bar{y}_3 =$ $\bar{x}_4 =$ $\bar{y}_4 =$ | | | |

Постройте качественный фазовый портрет решения системы.

В программе TRAX постройте фазовый портрет решения системы. Обратите внимание на выбор масштаба окна фазовой плоскости.

В программе TRAX постройте кинетический портрет решения системы для произвольного начального положения изображающей точки.

- С помощью диаграммы Ламерея построить график динамики численности популяции, если зависимость $N_{t+1} = f(N_t)$ имеет вид:



3. Определите концентрацию гемоглобина в крови (эритроцитарной массе), используя значение оптической плотности по спектру, который зарегистрирован после гемолиза (молярный коэффициент поглощения гемоглобина на длине волны 540 нм $\epsilon_{540} = 1.5 \cdot 10^4$ л/ (моль*см). Определите среднюю концентрация гемоглобина в эритроците, если содержание эритроцитов в крови и средний объем эритроцитов составляют $8 \cdot 10^6$ кл/мкл и 50 фл [фемто литр = 10^{-15} л], соответственно (для крови крысы, если в эксперименте использовалась другая кровь, уточните данные у преподавателя).
4. Написать и решить дифференциальное уравнение для разрядки конденсатора. Через какое время потенциал на обкладках конденсатора уменьшится на 99%, если к конденсатору емкостью C подключена нагрузка R ?
5. Измерить спектр флуоресценции листа фасоли при комнатной температуре. Установить положение максимумов флуоресценции. Проверить воспроизводимость результатов при повторных записях спектра, начиная с коротковолновой и длинноволновой стороны.
6. Провести расчет значений экстраполяционного числа n , D_q , D_0 и D_{37} для кривых выживаемости культивируемых клеток, облученных α -излучением, по представленным данным о выживаемости клеток при разных дозах облучения:

| | |
|---------------|-----------------------|
| Доза D , Гр | Доля выживших клеток, |
|---------------|-----------------------|

| | N/N_0 |
|------|---------|
| 0,00 | 1 |
| 0,20 | 0,8465 |
| 0,40 | 0,7165 |
| 0,60 | 0,6065 |
| 0,80 | 0,5134 |
| 1,00 | 0,4346 |
| 1,40 | 0,3114 |
| 1,80 | 0,2231 |
| 2,50 | 0,1245 |
| 4,00 | 0,0357 |

Образцы вопросов контрольных работ:

1. Найдите работу Na^+/K^+ -АТФазы по переносу 3-х ионов Na^+ из клетки и 2-х ионов K^+ в клетку через мембрану аксона кальмара при 37°C , если их концентрации внутри клетки составляют 50 мМ и 400 мМ, а снаружи – 440 мМ и 20 мМ соответственно. Потенциал на мембране $\varphi = \varphi_{\text{in}} - \varphi_{\text{out}} = -60$ мВ.

2. Белок находится в равновесии с денатурированной формой: белок (нативный) \leftrightarrow белок (денатурированный).

В таблице приведены равновесные концентрации двух форм белка при 50°C и 100°C .

| Температура $^\circ\text{C}$ | Нативная форма | Денатурированная форма |
|---------------------------------|------------------------|---------------------------|
| 50 | 10^{-3} М | $2 \cdot 10^{-6}$ М |
| 100 | $8,35 \cdot 10^{-4}$ М | $1,67 \cdot 10^{-4}$ М |

Определите ΔH° денатурации белка, а также ΔS° этого процесса при 50°C . Считайте, что ΔH° не зависит от температуры.

3. ΔG° при 298 К реакции АДФ + фосфокреатин \leftrightarrow АТФ + креатин, катализируемой креатинкиназой, составляет -12,5 кДж/моль.

1) Концентрации АДФ, фосфокреатина, АТФ и креатина в растворе равны 5,5 мМ, 8 мМ, 4 мМ и 21 мМ соответственно. Найдите $\Delta G'$.

В раствор добавили креатинкиназу. Найдите концентрации реагентов и продуктов реакции после установления равновесия. Температура раствора равна 25°C .

4. В таблице приведены коэффициенты молярной экстинкции (в ед. $\text{M}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$) ароматических аминокислот тирозина (Tyr) и триптофана (Trp) при двух длинах волн (260 и 280 нм).

| | $\lambda_1 = 260$ нм | $\lambda_2 = 280$ нм |
|-----|----------------------|----------------------|
| Tyr | 250 | 1000 |
| Trp | 2500 | 5000 |

При длине волны 260 нм раствор поглощает 11,4 % света, а при длине волны 280 нм – 22,4 %. Определите концентрации Tyr и Trp в этом растворе, если длина оптического пути $l = 1$ см.

5. Ион I^- является тушителем флуоресценции аминокислоты триптофана. При добавлении к раствору триптофана $0,5 \text{ M KI}$ интенсивность флуоресценции снизилась в 5 раз. Какая концентрация KI снизит исходный уровень флуоресценции в 4 раза? Найдите время жизни молекулы триптофана в возбужденном состоянии в отсутствие тушителя τ_0 , если в присутствии $0,5 \text{ M KI}$ время жизни составляет $\tau = 1,6 \text{ нс}$.
6. Найдите минимальное количество молей Na^+ , которое необходимо перенести через поверхность (1 см^2) возбудимой мембраны для генерации потенциала действия с амплитудой 90 мВ . Емкость мембраны $C_m = 1 \text{ мкФ/см}^2$. Насколько изменится внутриклеточная концентрация Na^+ во время потенциала действия в аксоне диаметром 700 мкм ? В покое $[Na^+]_i = 15 \text{ mM}$.
7. Клетку сферической формы радиусом 10 мкм помещают в среду, содержащую глицерин. Известно, что толщина клеточной мембраны составляет $h = 10 \text{ нм}$, а коэффициент распределения глицерина в системе липид/вода равен $\beta = 2 \cdot 10^{-6}$. Определите время, за которое концентрация глицерина в клетке достигнет 50% от его концентрации снаружи, если коэффициент диффузии этого вещества в мембране равен $D_m = 1,89 \cdot 10^{-10} \text{ см}^2/\text{с}$. Считайте, что концентрация глицерина в среде постоянна.
8. При облучении в какие сроки внутриутробного развития наиболее вероятны появления грубых структурных нарушений (уродств) у человека?
- при облучении на 1-5-е сутки внутриутробного развития
 - при облучении на 10-40-е сутки внутриутробного развития
 - при облучении на 8-15-й неделе внутриутробного развития
 - при облучении в сроки > 25 недель внутриутробного развития
9. Какое из нижеперечисленных ионизирующих излучений имеет наименьшую проникающую способность?
- рентгеновское излучение
 - γ -излучение
 - нейтронное излучение
 - протонное излучение
 - α -излучение
 - β^- -излучение
 - β^+ -излучение
10. Какое из нижеперечисленных ионизирующих излучений имеет наибольшие значения линейной плотности ионизации?
- рентгеновское излучение
 - α -излучение
 - γ -излучение
 - нейтронное излучение
 - протонное излучение
 - β^- -излучение
 - β^+ -излучение

7.3. Описание критериев и шкал оценивания

Описание критериев оценивания выполнения задания

| Показатель | Баллы |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Студент выполняет менее 50% задания | 0-20 |
| Задание студент выполняет все или большей частью, есть отдельные неточности, способен при направляющих вопросах исправить допущенные неточности | 21-32 |
| Задание выполнено студентом правильно, самостоятельно в полном объеме | 33-40 |

Шкала оценивания сформированности компетенций

| Уровень сформированности компетенции | Баллы | Оценка в 5-ти балльной шкале |
|--------------------------------------|----------|------------------------------|
| Недостаточный | Менее 20 | неудовлетворительно |
| Базовый | 20-26 | удовлетворительно |
| Высокий (повышенный) | 27-32 | хорошо |
| Продвинутый (повышенный) | 33-40 | отлично |

ШКАЛА И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ результатов обучения по дисциплине (модулю)

(*оценка сформированности компетенций дается в соответствии со шкалой выше)

| Оценка | 2 (не зачтено) | 3 (зачтено) | 4 (зачтено) | 5 (зачтено) |
|----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| Рез-т обучения | | | | |
| Знания (приведены в п.3.) | Отсутствие знаний | Фрагментарные знания | Общие, но не структурированные знания | Сформированные систематические знания |
| Умения (приведены в п.3.) | Отсутствие умений | В целом успешное, но не систематическое умение | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение (допускает неточности не принципиального характера) | Успешное и систематическое умение |
| Навыки /владения/опыт деятельности (приведены в п.3.) | Отсутствие навыков (владений, опыта деятельности) | Наличие отдельных навыков | В целом, сформированные навыки (владения), но используемые не в активной форме | Сформированные навыки (владения), применяемые при решении задач |

8. Ресурсное обеспечение:

8.1. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Основная литература:

4. Рубин А. Б. Биофизика: в 3-х томах. Том I. Теоретическая биофизика. М.-Ижевск : Институт компьютерных исследований, 2013. – 472 с.
5. Рубин А. Б. Биофизика: в 3-х томах. Том II. Биофизика клеточных процессов. Биофизика мембранных процессов. М.-Ижевск : Институт компьютерных исследований, 2013. – 384 с.
6. Рубин А. Б. Биофизика: в 3-х томах. Том III. Биофизика клеточных процессов. Механизмы первичных фотобиологических процессов. М.-Ижевск : Институт компьютерных исследований, 2013. – 480 с.
7. Рубин А. Б. Биофизика: учебник (ФГОС 3+). М. : Кнорус, 2017. 190 с.
8. Практикум по биофизике: в 2 частях. Часть 1 / Н. В. Алексеева [и др.]; под ред. А. Б. Рубина. М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015. – 192 с.
9. Сборник задач по биофизике: учебное пособие / Под ред. А. Б. Рубина. М. : КДУ, 2011. – 184 с.
10. Кудряшов Ю. Б. Радиационная биофизика (ионизирующие излучения). М. : ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 448 с.

Дополнительная литература:

1. Владимиров Ю. А., Проскурнина Е. В. Лекции по медицинской биофизике: Учебное пособие. М.: Изд-во МГУ; ИКЦ «Академкнига», 2007. – 432 с.
2. Методы в молекулярной биофизике: структура, функция, динамика: учебное пособие: в 2 т. / Сердюк И., Заккай Н., Заккай Дж.; [науч. ред. И. Сердюк]. – М.: КДУ, 2009.
3. Современные методы биофизических исследований: Практикум по биофизике: Учеб. Пособие для биол. спец. вузов / А. А. Булычев, В. Н. Верхотуров, Б. А. Гуляев [и др.]; под ред. А. Б. Рубина. М. Высш. шк. 1998. – 359 с.
4. Ризниченко Г. Ю. Лекции по математическим моделям в биологии. М.-Ижевск: Издательство «РХД», 2011. – 560 с.
5. Рубин А. Б. Термодинамика биологических процессов: учебное пособие. М. Изд-во Московского Университета, 1976. – 239 с.
6. Кантор Ч., Шиммел П. Биофизическая химия: в 3-х томах: Пер. с англ. М.: Мир, 1984.
7. Геннис Р. Биомембраны. Молекулярная структура и функции: пер. с англ. М.: Мир, 1997. – 624 с.
8. Джаксон М. Б. Молекулярная и клеточная биофизика: пер. с англ. М: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2019. – 551 с.
9. Владимиров Ю. А., Потапенко А. Я. Физико-химические основы фотобиологических процессов. М.: Дрофа, 2006. – 288 с.
10. Финкельштейн А. В. Физика белковых молекул. М.-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2014. – 424 с.
11. Ярмоненко С. П., Вайнсон А. А. Радиобиология человека и животных. Учебн. пособие. М.: Высшая школа, 2004.- 549 с.
12. Physical Biology of the Cell. Second edition / Phillips R., Kondev J., Theriot J. et al. Garland Science, 2013. – 1057 p.

8.2. Перечень лицензионного и(или) свободно распространяемого программного обеспечения, в том числе отечественного производства

1. Яндекс Браузер
2. Libre Office
3. Adobe Acrobat Reader
4. Windows,
5. Google Chrome,
6. TRAX,
7. XPPAUT,
8. Orca 4.1.0,
9. PyMol,
10. Avogadro,
11. SpectraSuite,
12. WinWCP.

8.3. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

Google Scholar,

<https://elibrary.ru/>,

<http://www.biophys.msu.ru/>,

<http://mathbio.ru/>,

<https://www.desmos.com/calculator>,

<http://yotx.ru/>.

8.4. Описание материально-технической базы

Для освоения дисциплины требуется свободный доступ к сети Интернет, а также:

- Аудитории для проведения лекционных и семинарских занятий, текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации
 - А. Помещения: аудитории для проведения лекционных/семинарских занятий, текущего контроля и промежуточной аттестации: учебная аудитория филиала МГУ в г. Грозном;
 - Б. Оборудование: наборы ученической мебели, рабочее место преподавателя, матричные спектрометры, стабилизированные источники освещения, электрические стимуляторы, самопишущие потенциометры, аналогово-цифровые преобразователи, фотоэлектронные умножители, электроды, компьютеры, дозаторы автоматические. ученическая доска, проектор, экран, доска.

9. Язык преподавания

Русский.

10. Преподаватели

Рубин Андрей Борисович – академик, заведующий кафедрой биофизики биологического факультета МГУ

Алексеева Наталья Владимировна – к.б.н., доцент кафедры биохимии биологического факультета МГУ

Беляева Наталья Евгеньевна – к.ф.-м.н., старший научный сотрудник кафедры биофизики биологического факультета МГУ

Браже Алексей Рудольфович – к.б.н., старший научный сотрудник кафедры биофизики биологического факультета МГУ

Булычев Александр Александрович – д.б.н., профессор кафедры биофизики биологического факультета МГУ

Герш Юлия Александровна – ассистент кафедры биохимии биологического факультета МГУ
Климанова Елизавета Андреевна – к.б.н., старший преподаватель кафедры биохимии биологического факультета МГУ
Конюхов Иван Владимирович – к.б.н., старший научный кафедры биофизики биологического факультета МГУ
Локтюшкин Алексей Владимирович – к.б.н., старший преподаватель кафедры биофизики биологического факультета МГУ
Лунева Оксана Георгиевна – к.б.н., доцент кафедры биофизики биологического факультета МГУ
Озрина Рада Драгановна – к.б.н., заведующий лабораторией изотопного анализа кафедры биохимии биологического факультета МГУ
Платонов Александр Георгиевич – к.б.н., ведущий научный сотрудник кафедры биофизики биологического факультета МГУ
Плюснина Татьяна Юрьевна – к.ф.-м.н., доцент кафедры биофизики биологического факультета МГУ
Погосян Сергей Иосифович – д.б.н., профессор кафедры биофизики биологического факультета МГУ
Федоров Владимир Андреевич – к.ф.-м.н., научный сотрудник кафедры биофизики биологического факультета МГУ
Фрайкин Григорий Яковлевич – д.б.н., профессор кафедры биофизики биологического факультета МГУ
Фурсова Полина Викторовна – к.ф.-м.н., старший научный сотрудник кафедры биофизики биологического факультета МГУ
Черкашин Александр Александрович – к.б.н., старший преподаватель кафедры биофизики биологического факультета МГУ
Яковлева Ольга Валентиновна – к.ф.-м.н., ведущий научный сотрудник кафедры биофизики биологического факультета МГУ
Ярошевич Игорь Александрович – к.б.н., научный сотрудник кафедры биофизики биологического факультета МГУ .

11. Авторы программы

Рубин Андрей Борисович – академик, заведующий кафедрой биофизики биологического факультета МГУ
Алова Анна Владимировна – к.б.н., ассистент кафедры биофизики биологического факультета МГУ
Погосян Сергей Иосифович – д.б.н., профессор кафедры биофизики биологического факультета МГУ
Локтюшкин Алексей Владимирович – к.б.н., старший преподаватель кафедры биофизики биологического факультета МГУ
Лунева Оксана Георгиевна – к.б.н., доцент кафедры биофизики биологического факультета МГУ
Алексеева Наталья Владимировна – к.б.н., доцент кафедры биохимии биологического факультета МГУ
Ярошевич Игорь Александрович – к.б.н., научный сотрудник кафедры биофизики биологического факультета МГУ.