

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр
Сибирского отделения Российской академии наук»
(КНЦ СО РАН, ФИЦ КНЦ СО РАН)**

УТВЕРЖДАЮ:

Директор ФИЦ КНЦ СО РАН

_____  А.А. Шпедт

« 25 »  2022г.



**ПРОГРАММА КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА
ПО СПЕЦИАЛЬНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**

«Биофизика»

Научная специальность:

1.5.2. Биофизика

Отрасль наук:

биологические, физико-математические, технические
и медицинские науки

Красноярск 2022

1 Общие положения

Программа кандидатского экзамена разработана на кафедре фундаментальных дисциплин и методологии науки факультета подготовки кадров ФИЦ КНЦ СО РАН в соответствии со следующими документами:

- Приказом Министерства науки и высшего образования РФ от 20 октября 2021 г. №951 «Об утверждении федеральных государственных требований к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре), условиям их реализации, срокам освоения этих программ с учетом различных форм обучения, образовательных технологий и особенностей отдельных категорий аспирантов (адъюнктов)»;
- Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842 «О порядке присуждения ученых степеней»;
- Положением о подготовке научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре ФИЦ КНЦ СО РАН;
- Порядком сдачи кандидатских экзаменов и прикрепления лиц к ФИЦ КНЦ СО РАН для сдачи кандидатских экзаменов;
- Паспортом научной специальности.

Цель проведения экзамена: оценить уровень знаний, умений и навыков в области биофизики.

Экзамен по специальной дисциплине должен выявить уровень теоретической и профессиональной подготовки экзаменуемого, знание общих концепций и методологических вопросов данной науки, истории ее формирования и развития, фактического материала, основных теоретических и практических проблем данной отрасли знаний.

К кандидатскому экзамену допускаются лица, прикрепленные к ФИЦ КНЦ СО РАН для сдачи кандидатских экзаменов без освоения программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре, и аспиранты, обучающиеся в ФИЦ КНЦ СО РАН по программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (далее – экзаменуемые).

Кандидатский экзамен по дисциплине «Биофизика» проводится по билетам. Экзаменационный билет включает в себя три теоретических вопроса по данной научной специальности и отрасли науки, по которой подготавливается или подготовлена диссертация.

2 Содержание программы кандидатского экзамена

Введение в дисциплину

Предмет биофизики, ее место в естествознании. Взаимосвязь физических, физико-химических и биологических процессов в живых организмах. Разделы и методы биофизики (Биофизика сложных систем. Теоретическая биофизика. Молекулярная биофизика. Биофизика клеточных процессов)

Биофизика сложных систем. Теоретическая биофизика

Кинетика биологических процессов. Базовые модели в математическом моделировании биологических процессов. Термодинамика необратимых процессов и ее применение к биологическим системам. Законы термодинамики и их применение к биологическим системам. Связь между кинетикой и термодинамикой

Молекулярная биофизика

Пространственная организация биополимеров. Общие понятия стабильности конфигурации молекул, энергия связи. Макромолекула как основа организации биоструктур. Динамические свойства глобулярных белков. Взаимодействие статистических и механических факторов, определяющих динамическую подвижность белков. Электронные свойства биополимеров. Химические взаимодействия в макромолекулах. Цепь главных валентностей. Электронные уровни

Биофизика клеточных процессов

Биофизика мембранных процессов. Мембрана как универсальный компонент биологических систем. Структурная организация мембран. Молекулярные механизмы процессов энергетического сопряжения. Связь транспорта ионов и процессов переноса электрона в хлоропластах и митохондриях. Биофизика сократительных систем. Основные типы сократительных и подвижных систем. Биофизика рецепции. Биофизика фотобиологических процессов. Общая характеристика фотохимических реакций и их типы. Основные стадии фотобиологического процесса.

Биофизика фотобиологических процессов

Механизмы трансформации энергии в первичных фотобиологических процессах. Взаимодействие квантов с молекулами. Первичные фотохимические реакции. Основные стадии фотобиологического процесса. Биофизика фотосинтеза. Структурная организация и функционирование фотосинтетических мембран. Два типа пигментных систем и две световые реакции. Организация и функционирование фотореакционных центров. Проблемы первичного акта фотосинтеза. Электронно-конформационные

взаимодействия. Фотоинформационный переход. Кинетика и физические механизмы переноса электрона в электрон-транспортных цепях при фотосинтезе. Фотохимические реакции в белках, липидах и нуклеиновых кислотах. ДНК как основная внутриклеточная мишень при летальном и мутагенном действии ультрафиолетового света. Фотосенсибилизированные и двухквантовые реакции при повреждении ДНК. Механизмы фотодинамических процессов. Защита ДНК некоторыми химическими соединениями. Эффекты фоторепарации и фотозащиты. Ферментативный характер и молекулярный механизм фотореактивации. Роль фотоиндуцированного синтеза биологически активных соединений в процессе фотозащиты.

Целые и мероморфные функции

Рост целой функции. Порядок и тип. Теорема Вейерштрасса о целых функциях с заданными нулями; разложение целой функции в бесконечное произведение. Случай целых функций конечного порядка, теорема Адамара. Теорема Миттаг–Леффлера о мероморфных функциях с заданными полюсами и главными частями

Конформные отображения

Конформные отображения, осуществляемые элементарными функциями. Принцип сохранения области. Критерии однолиственности. Теорема Римана. Теоремы о соответствии границ при конформных отображениях

Аналитическое продолжение

Аналитическое продолжение и полная аналитическая функция (в смысле Вейерштрасса). Понятие Римановой поверхности. Продолжение вдоль кривой. Теорема о монодромии. Изолированные особые точки аналитических функций, точки ветвления бесконечного порядка. Принцип симметрии. Формула Кристоффеля–Шварца. Модулярная функция. Нормальные семейства функций, критерий нормальности. Теорема Пикара

Гармонические функции

Гармонические функции, их связь с аналитическими. Инвариантность гармоничности при конформной замене переменных. Бесконечная дифференцируемость. Теорема о среднем и принцип максимума. Теорема единственности. Задача Дирихле. Формула Пуассона для круга.

Общая характеристика реакций в биологических системах. Описание динамики биологических процессов на языке химической кинетики.

Понятие математической модели. Задачи и возможности математического моделирования в биологии. Понятие адекватности модели реальному объекту. Принципы построения математических моделей биологических систем.

Линейные и нелинейные процессы.

Методы качественной теории дифференциальных уравнений в анализе динамических свойств биологических процессов. Понятие фазовой плоскости.

Стационарные состояния биологических систем. Устойчивость стационарных состояний.

Быстрые, медленные переменные. Временная иерархия и принцип узкого места. Его проявление в стационарной кинетике биологических процессов. Понятие о методе квазистационарных концентраций.

Колебательные процессы в биологии, значение их теоретического исследования. Понятие автоколебательного режима динамической модели. Предельные циклы. Примеры автоколебательных моделей.

Кинетика ферментативных реакций. Особенности механизма ферментативных процессов.

Стационарная кинетика ферментативных реакций. Уравнение Михаэлиса-Ментен. Влияние различных факторов на кинетику ферментативных реакций (ингибиторы, активаторы, pH среды, ионы металлов). Общие принципы регулирования и анализа более сложных ферментативных реакций. Применение метода графов.

Множественность стационарных состояний биологических систем. Модели триггерного типа. Управляющие параметры. Параметрическое и силовое переключение триггера. Примеры моделей триггерных систем.

Влияние температуры на скорость реакций в биологических системах. Теория абсолютных скоростей реакций и активированного комплекса. Ограничения применимости этих представлений в биоструктурах.

Модели экологических систем. Понятие распределенных систем. Математический аппарат описания распределенных систем - уравнения в частных производных.

Активные химические и биологические среды.

Модель Тьюринга.

Распространение возмущений в активных химических и биологических средах.

Пространственно-неоднородные стационарные состояния - диссипативные структуры. Устойчивые и неустойчивые структуры в биологическом морфогенезе. Модели дифференцировки тканей. Базовые модели в математическом моделировании биологических процессов.

1.2. Термодинамика необратимых процессов и ее применение к биологическим системам

Классификация термодинамических систем. Первый закон термодинамики и его применение к биологическим системам. Второй закон термодинамики в биологии. Понятие термодинамического равновесия. Расчеты стандартных энергий реакций в биологических системах.

Изменение энтропии в открытых системах. Термодинамические условия осуществления стационарного состояния. Связь между величинами

химического сродства и скоростями реакций. Термодинамическое сопряжение реакций и тепловые эффекты в биологических системах.

Понятие обобщенных сил и потоков. Линейные соотношения и соотношения взаимности Онзагера. Стационарное состояние и условие минимума скорости прироста энтропии. Теорема Пригожина. Осуществление принципа Ле-Шателье в стационарных состояниях.

Границы применимости линейной термодинамики в биологии. Критерий "удаленности" сложных биологических процессов и их отдельных стадий от термодинамического равновесия. Нелинейная термодинамика. Общие критерии устойчивости стационарных состояний и перехода к ним вблизи и вдали от равновесия. Связь между кинетикой и термодинамикой.

Связь энтропии и информации в биологических системах. Понятие количества и ценности информации. Условия запасаения, хранения и переработки информации в макромолекулярных системах.

2. Молекулярная биофизика

2.1. Пространственная организация биополимеров

Общие понятия стабильности конфигурации молекул, энергия связи. Макромолекула как основа организации биоструктур. Своеобразие макромолекул как физического объекта.

Общий характер объемных взаимодействий и влияние внешнего поля на стабильность конформации биополимеров (по работам Лифшица). Фазовые переходы. Кооперативные свойства макромолекул. Различные типы объемных взаимодействий в макромолекулах. Водородные связи, силы Ван-дер-Ваальса и стабильность вторичной и третичной структуры. Поворотная изомерия и энергия внутреннего вращения. Расчет конформационной энергии. Конформация полипептидной цепи. Стерические карты.

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.

Топология и физика кольцевых замкнутых ДНК.

2.2. Динамические свойства глобулярных белков

Взаимодействие статистических и механических факторов, определяющих динамическую подвижность белков.

Динамическая структура глобулярных белков; конформационная подвижность. Методы изучения конформационной подвижности: изотопный обмен, люминесцентные методы, спиновая метка, гамма-резонансная метка, ЯМР высокого разрешения, импульсные методы ЯМР.

Результаты исследования конформационной подвижности. Типы движения в белках. Роль воды в динамике белков. Роль конформационной подвижности в функционировании ферментов и транспортных белков.

2.3. Электронные свойства биополимеров

Химические взаимодействия в макромолекулах. Цепь главных валентностей. Электронные уровни. Связывающие и разрыхляющие орбитали. Электроны, энергия делокализации. Примеры расчетов взаимодействия атомов в пептидной группе и в азотистых основаниях.

Схема Яблонского для сложных молекул. Принцип Франка-Кондона и законы флуоресценции. Люминесценция биологически важных молекул. Механизмы миграции энергии: резонансный механизм, синглет-синглетный и триплет-триплетный переносы, миграция экситона. Природа гиперхромного и гипохромного эффектов. Оптическая плотность.

Механизмы и физические модели переноса электронов в биоструктурах. Туннельный эффект. Особенности электронных переходов и конформационных перестроек в больших молекулах. Природа электронноконформационных взаимодействий в релаксационных процессах.

Современные представления о механизмах ферментативного катализа. Строение активного центра и электронные взаимодействия в фермент-субстратном комплексе. Примеры.

3. Биофизика клеточных процессов

3.1. Биофизика мембранных процессов

Мембрана как универсальный компонент биологических систем. Структурная организация мембран. Липиды. Характеристика мембранных белков. Вода как составной элемент биомембран.

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

Физико-химические механизмы стабилизации мембран. Фазовые переходы в мембранных системах. Вращательная, трансляционная подвижность фосфолипидов, флип-флоп переходы. Подвижность мембранных белков. Белок-липидное взаимодействие в мембранах.

Поверхностный заряд мембранных систем; происхождение дзета-потенциала и характеристика основных факторов, определяющих его величину.

Пассивные электрические явления в биоструктурах. Типы поляризации.

Дисперсия электропроводности, емкости, диэлектрической проницаемости биоструктур. Зависимость диэлектрических потерь от частоты.

Особенности структуры живых клеток и тканей, лежащие в основе их электрических свойств. Зоны дисперсии электрических параметров биологических объектов.

Свободные радикалы при цепных реакциях окисления липидов в мембранах и других клеточных структурах. Образование свободных радикалов в тканях в норме и при патологических процессах; роль активных форм кислорода. Антиоксиданты, механизм их биологического действия. Естественные антиоксиданты тканей и их биологическая роль.

Проблема транспорта веществ через биомембраны. Проницаемость биомембран. Движущие силы процесса переноса вещества через мембрану. Электрохимический потенциал. Активный и пассивный транспорт. Термодинамические уравнения и критерии процессов пассивного и активного транспорта. Уравнения диффузии, константа проницаемости.

Транспорт неэлектролитов. Связь проницаемости мембран с растворимостью проникающих веществ в липидах. Простая диффузия низкомолекулярных веществ. Ограниченная диффузия.

Проницаемость биологических мембран для воды.

Облегченная диффузия. Транспорт сахаров и аминокислот через биологическую мембрану с участием переносчиков. Пиноцитоз.

Проницаемость биологических мембран для ионов. Избирательность. Понятие о полупроницаемости, селективности и неспецифичности биомембран. Роль переносчиков в проницаемости биологических мембран для ионов. Примеры (валиномицин, грамицидин).

Структура и свойства каналов, их роль в ионном транспорте. Механизмы переноса ионов через канал. Селективность. Воротные токи. Механизмы регулирования проводимости каналов. Кооперативная модель. Флуктуации ионных токов.

Распределение ионов по обе стороны биологической мембраны.

Причины возникновения биопотенциалов. Концентрационные, диффузионные, фазовые и мембранные потенциалы. Равновесие Доннана. Равновесный электрохимический потенциал. Потенциал покоя и его связь с распределением ионов. Роль калия в генерации потенциала покоя. Гипотеза о натриевом насосе. Уравнение поля Гольдмана. Мембранная теория Ходжкина-Хаксли-Катца.

Экспериментальные доказательства наличия транспорта ионов натрия. Транспортные АТФазы. Модели параллельно функционирующих пассивных и активных каналов транспорта ионов через мембрану.

Транспорт ионов водорода, калия и кальция через мембраны митохондрий и хлоропластов. Хемиосмотическая теория Митчела. Сопряженный транспорт.

Потенциал действия. Роль натрия и калия в генерации потенциала действия в нервах и мышцах. Роль кальция и хлора в генерации потенциала действия у других объектов. Кинетика изменения потоков ионов при возбуждении. Роль и механизмы активации и инактивации каналов в генерации потенциала действия. Функциональное значение потенциала действия.

Связь биоэлектрических явлений с метаболизмом и распространением возбуждения.

Кабельная теория проведения возбуждения. Проведение нервного, импульса по немиелиновым и миелиновым аксонам. Математические модели проведения. Физико-химические изменения в нервах при проведении возбуждения.

Основные понятия теории возбудимых сред.

3.2. Молекулярные механизмы процессов энергетического сопряжения

Связь транспорта ионов и процессов переноса электрона в хлоропластах и митохондриях.

Основные положения теории Митчела; электрохимический градиент протонов; энергизованное состояние мембран; роль векторной H' - АТФазы.

Сопрягающие комплексы, их локализация в мембране; 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.

3.3. Биофизика сократительных систем

Основные типы сократительных и подвижных систем. Молекулярные механизмы подвижности белковых компонентов сократительного аппарата мышц. Принципы преобразования энергии в механохимических системах. Термодинамические, энергетические и мощностные характеристики сократительных систем.

Функционирование поперечнополосатой мышцы позвоночных. Модели Хаксли, Дещеревского, Хилла.

Молекулярные механизмы немышечной подвижности.

3.4. Биофизика рецепции

Сенсорная рецепция. Проблема сопряжения между первичным взаимодействием внешнего стимула с рецепторным субстратом и генерацией рецепторного (генераторного) потенциала. Общие представления о структуре и функции рецепторных клеток. Место рецепторных процессов в работе сенсорных систем.

Фоторецепция. Строение зрительной клетки. Молекулярная организация фоторецепторной мембраны; динамика молекулы зрительного пигмента в мембране. Зрительные пигменты: классификация, строение, спектральные характеристики; Фотохимические превращения родопсина. Ранние и поздние рецепторные потенциалы. Механизмы генерации позднего рецепторного потенциала.

Механорецепция. Рецепторные окончания кожи, проприорецепторы. Механорецепторы органов чувств: органы боковой линии, вестибулярный аппарат, кортиева орган внутреннего уха. Общие представления о работе

органа слуха. Современные представления о механизмах механорецепции; генераторный потенциал. Электрорецепция.

Хеморецепция. Обоняние. Восприятие запахов: пороги, классификация запахов.

Вкус. Строение вкусовых клеток; проблема вкусовых рецепторных белков.

Рецепция медиаторов и гормонов. Проблема клеточного узнавания, Механизмы взаимодействия клеточных поверхностей.

3.5. Биофизика фотобиологических процессов

Общая характеристика фотохимических реакций и их типы.

Основные стадии фотобиологического процесса: возбуждение фоторецептора, миграция энергии возбуждения, первичный фотохимический акт, сопряжение с ферментативными стадиями, физиологический эффект. Основы молекулярной организации фоторецептора. Люминесценция биологически важных молекул.

Процессы растрат энергии и фотохимический акт. Фотохимические процессы, квантовый выход и сечение фотореакции.

Кинетика фотобиологических процессов и зависимость от интенсивности света. Фотосенсибилизация.

Фотосинтез. Спектр действия, поглощение и миграция энергии в фотосинтетической единице. Механизмы разделения зарядов в реакционном центре. Генерация потенциалов. Роль, мембранных структур. Электронтранспортная цепь и две фотохимические реакции.

Кинетика и физические механизмы переноса электрона в электронтранспортных цепях фотосинтеза. Механизмы сопряжения окислительно-восстановительных реакций с трансмембранным переносом протона. Механизмы фотофосфорилирования.

Особенности и механизмы фотоэнергетических реакций бактериородопсина и зрительного пигмента родопсина.

Энергетический и квантовый выход. Молекулярные механизмы других фотобиологических процессов: зрение, фототропизм, фотопериодизм, фототаксис, абиогенный синтез веществ, фотодинамическое действие, фотореактивация, действие ультрафиолета на белки и нуклеиновые кислоты, бактерицидное действие.

Взаимодействие лазерного излучения с биоструктурами.

3 Перечень вопросов к кандидатскому экзамену по дисциплине «Биофизика»

1. **Объект и метод в биофизике.** Идеализированный объект, как ключевое понятие в методологии физики и биофизики. Сравнение подходов биологии и биофизики. Место биофизики в системе биологических и физических наук.

2. **Моделирование в биофизике.** Понятие о моделях в методологии естественных наук. Теоретические и экспериментальные модели. Особенности биофизических моделей. Типичные стадии математического моделирования (идеализация, формализация, анализ модели, интерпретация результатов).

3. **Экстремальные принципы в биологии.** Физическая каузальность и биологический финализм. Принципы максимальной простоты, оптимальной конструкции, адекватной конструкции. Частные принципы оптимальности.

4. **Природа живого.** Атрибуты живого с точки зрения ключевых свойств и с эволюционных позиций. Необходимость расширения понятийной и терминологической базы физики для объяснения жизни. Адекватность применения понятий "конструкция", "машина", "сигнал", "информация" к биологическим системам, относящимся к разным уровням иерархии.

5. **Ключевые проблемы абиогенного возникновения жизни** и возможные подходы для их снятия. Эксперименты Миллера-Юри. Невозможность самосборки простейшей живой клетки. Парадокс Кастлера. Необходимые условия для возникновения и эволюции живого. Возможные предшественники живой клетки и химическая эволюция.

6. **Биосфера – вершина иерархической организации жизни.** Определение биосферы по Вернадскому. Замкнутость химических и биохимических процессов в биосфере как необходимое условие существования функционирующих автокаталитических систем в конечном объеме в течение неограниченного времени. Основные этапы эволюции земной биосферы. Парадокс Дарвина-Вернадского и возможные подходы к его разрешению.

7. **Системы жизнеобеспечения человека вне Земли.** Биосфера, как СЖО космического корабля по имени Земля (по Ю. Одуму). Экспериментальные модели земной биосферы (Биос-3, Биосфера-2, Лунный дворец-1). Коэффициент замкнутости потоков веществ. Решенные и нерешенные проблемы создания СЖО.

8. **Термодинамика и живые системы.** Предмет термодинамики: чем занимается термодинамика. Типы термодинамических систем. Значение термодинамики для биологии и биофизики. Закон сохранения энергии (первое начало). Второе начало термодинамики, энтропия. Демон Максвелла. Энтропия и развитие биологических систем.

9. **Термодинамические потенциалы.** Основное соотношение термодинамики (соотношение Гиббса). Внутренняя энергия. Энтальпия. Термодинамический потенциал Гельмгольца. Термодинамический потенциал Гиббса. Условия применимости термодинамических потенциалов.

10. **Химический потенциал.** Понятие химического потенциала. Химический потенциал как критерий химического равновесия. Химические реакции и константы равновесия. Активность как термодинамическая концентрация. Критерии самопроизвольного протекания химических реакций.

11. **Теория переходного состояния и скорости химических реакций.** Температурная зависимость индивидуальных констант скоростей реакции. Теория переходного состояния и скорости химических реакций. Денатурация белков. Термодинамические характеристики ферментативной реакции.

12. **Теория Онзагера.** Принцип локальности. Термодинамические уравнения движения. Соотношение взаимности. Роль сопряжения химических процессов в обеспечении процессов жизнедеятельности.

13. **Стационарные состояния в неравновесных системах.** Производство энтропии. Теорема Пригожина о минимальном производстве энтропии в стационарном состоянии, близком к равновесию.

14. **Фазы и фазовые переходы в биологических системах.** Вывод правила фаз Гиббса. Биологические мембраны как многокомпонентные системы. Биологический смысл многокомпонентности в свете правила фаз Гиббса. Взаимосвязь между функцией мембраны и фазовым состоянием мембраны.

15. **Биологические молекулы и их окружение.** Основные меж- и внутримолекулярные силы, обеспечивающие формирование и поддержание структуры биомолекул и их комплексов. Пространственная организация биополимеров. Водородные связи, силы Ван-дер-Ваальса и стабильность вторичной и третичной структуры. Повторная изомерия и энергия внутреннего вращения.

16. **Структура и функция белков.** Классификация структур белков. Принципы структурной организации белков. Переходы спираль-клубок. Кооперативные переходы в белковых молекулах. Формирование пространственной организации белков. Проблема предсказания пространственной структуры белков по первичной структуре. Парадокс Левинталя.

17. **Динамическая структура глобулярных белков;** конформационная подвижность. Методы изучения конформационной подвижности: изотопный обмен, люминесцентные методы, спиновая метка, гамма-резонансная метка, ЯМР высокого разрешения, импульсные методы ЯМР.

18. **Электронные свойства биополимеров.** Цепь главных валентностей. Электронные уровни. Связывающие и разрыхляющие орбитали, - электроны, энергия делокализации.. Принцип Франка-Кондона и законы флуоресценции. Люминесценция биологических важных молекул. Механизмы миграции энергии: резонансный механизм, синглет-синглетный и триплет-триплетный переносы, миграция экситона. Природа гиперхромного и гипохромного эффектов. Оптическая плотность.

19. **Ферменты.** Каталитический и субстрат-связывающий центры. Механизмы ферментативного катализа: энтропийный и энергетический катализ. Роль конформационной подвижности в функционировании ферментов и транспортных белков.

20. **Концепция "фермент-машина"** по Д.С.Чернавскому. Положения, лежащие в основе концепции "фермент-машина". Область применимости концепции "фермент-машина". Сравнение с концепцией В.А.Аветисова о белке-наномашине.

21. **Биологические механохимические машины.** Ферменты. АТФ-синтаза. Бактериальный мотор. Броуновская "трещотка" в амебе. Мышцы. Механохимическая машина Качальского и Оплатки.

22. **Стационарная ферментативная кинетика.** Закона действующих масс. Порядок химической реакции. Кинетическая схема Михаэлиса-Ментен и условие квазистационарности. Вывод уравнения Михаэлиса-Ментен. Линеаризация уравнения Михаэлиса-Ментен по Лайнуиверу-Берку. Вывод стационарной скорости ферментативной реакции методом графов.

23. **Нестационарная ферментативная кинетика.** Релаксационные методы исследования ферментативных реакций. Основные экспериментальные способы измерения характеристик нестационарных ферментативных процессов.

24. **Молекулярная рецепция.** Способность к молекулярной рецепции – необходимое условие функционирования биологических систем. Понятие молекулярной рецепции. "Сквозное" присутствие молекулярной рецепции практически во всех биологических реакциях. Молекулярная рецепция в функционировании ферментов. Скорость реакции и специфичность – оптимизационная задача, стоящая перед живым. Каскады ферментативных реакций.

25. **Основные механизмы изменения активности ферментов.** Ингибиторы ферментов. Основные типы обратимого ингибирования активности ферментов. рН-регуляция скоростей ферментативных реакций. Аллостерическая регуляция активности ферментов. Кооперативные эффекты в ферментативных реакциях.

26. **Моделирование полиферментных клеточных систем.** Модель энергетического метаболизма клетки. Понятие о первичной, вторичной и третичной структурах метаболизма. Режимы работы системы энергетического метаболизма.

27. **Гомеостаз.** Отрицательные и положительные обратные связи в организме. Элементы теории управления. Примеры проявления отрицательных обратных связей в организме. Принципы организации процессов в клетке. Механизмы координации внутриорганизменных химических и физиологических процессов.

28. **Биологические мембраны** как составная часть клеточной оболочки. Амфифильные вещества и образование мембранных структур. Молекулярная организация биологических мембран. Фазовые переходы в мембранах. Особенности структуры мембранных белков. Меж- и внутримолекулярные взаимодействия в мембранах.

29. **Транспорт веществ через мембрану.** Пассивный транспорт веществ через мембрану. Диффузия. Облегченная диффузия. Транспорт ионов. Ионное равновесие на границе раздела фаз.

30. **Культивирование микроорганизмов.** Фазы роста накопительной бактериальной культуры. Ведущие процессы на каждой фазе. Возможные модели динамики плотности культуры. Непрерывное культивирование микробной культуры. Два основных режима (хемостат и турбидостат). Модели роста популяции в хемостате и турбидостате.

31. **Морфогенез и дифференцировка тканей.** Модель трехцветного флага Вольперта и варианты ее реализации в реальных системах морфогенеза. Принципы, лежащие в основе морфогенеза.

32. **Множественность стационарных состояний биологических систем.** Модели триггерного типа. Управляющие параметры. Параметрическое и силовое переключение триггера. Примеры моделей триггерных систем. Гистерезисные явления, их значение в регулировании биологических систем.

33. **Влияние температуры на скорость реакции** в химических и биологических системах. Правило Вант-Гоффа. Ограничения применимости этого правила в биоструктурах. Типичный температурный профиль фермента.

34. **Спектрофотометрия в биофизике.** Фотометрические параметры излучения, единицы их измерения: поток излучения, телесный угол, сила излучения, облученность, яркость. Методы дистанционного зондирования при наземных исследованиях природных объектов. Типы оптических спектральных индексов (вегетационный, водный, снежный и т.д.).

35. **Основные стадии фотобиологического процесса:** возбуждение фоторецептора, миграция энергии возбуждения, первичный фотохимический акт, сопряжение с ферментативными стадиями, физиологический эффект. Основы молекулярной организации фоторецептора. Люминесценция биологически важных молекул.

36. **Фотосинтез.** Спектр действия, поглощение и миграция энергии в фотосинтетической единице. Механизмы разделения зарядов в реакционном центре. Генерация потенциалов. Роль мембранных структур. Электронтранспортная цепь и две фотохимические реакции.

37. **Фотофосфорилирование.** Кинетика и физические механизмы переноса электрона в электронтранспортных цепях фотосинтеза. Механизмы сопряжения окислительно-восстановительных реакций с трансмембранным переносом протона. Механизмы фотофосфорилирования.

4 Критерии оценивания ответа

Отлично	Полно раскрыто содержание вопросов; материал изложен грамотно, в определенной логической последовательности, правильно используется терминология; показано умение иллюстрировать
---------	--

	теоретические положения конкретными примерами, применять их в новой ситуации; продемонстрировано усвоение ранее изученных сопутствующих вопросов, ответ прозвучал самостоятельно, без наводящих вопросов.
Хорошо	Ответ удовлетворяет в основном требованиям на оценку «отлично», но при этом может иметь следующие недостатки: в изложении допущены небольшие пробелы, не искажившие содержание ответа допущены один -два недочета при освещении основного содержания ответа, исправленные по замечанию; допущены ошибка или более двух недочетов при освещении второстепенных вопросов, которые легко исправляются по замечанию
Удовлетворительно	Неполно или непоследовательно раскрыто содержание материала, но показано общее понимание вопроса. Имелись затруднения или допущены ошибки в определении понятий, использовании терминологии, исправленные после нескольких наводящих вопросов.
Неудовлетворительно	Имели место существенные упущения при ответах на все вопросы билета или полное несоответствие по более чем 50% материала вопросов билета

5 Учебно-методическое и информационное обеспечение

Основная литература

1. Рубин А. Б. Биофизика / А. Б. Рубин; Московский университет [МГУ] им. М. В. Ломоносова. - 3-е изд., испр. и доп. - Москва: Московский университет [МГУ] им. М.В. Ломоносова, 2004 г. (Классический университетский учебник). Том 1 / А. Б. Рубин. - 2004. - 462 с. (2 экз.)
2. Рубин А. Б. Биофизика / А. Б. Рубин; Московский университет [МГУ] им. М. В. Ломоносова. - 3-е изд., испр. и доп. - Москва: Московский университет [МГУ] им. М. В. Ломоносова, 2004 г. (Классический университетский учебник). Том 2 / А. Б. Рубин. - 2004. - 469 с. (2 экз.)
3. Блюменфельд Л. А. Решаемые и нерешаемые проблемы биологической физики: [монография]/Л. А. Блюменфельд. – 2010 (2 экз.)
4. Сердюк И. Методы в молекулярной биофизике. Структура. Функция. Динамика [Текст]: учебное пособие: [в 2 томах]. - Москва: Книжный дом "Университет" - Том 2. - 2010. - 733 с. (11 экз.)
5. Плутахин Г. А. Биофизика [Текст]: учебное пособие для студентов вузов / Г. А. Плутахин, А. Г. Коцаев. - Санкт-Петербург; Москва; Краснодар: Лань, 2012. - 239 с. (1 экз.)

6. Джаксон, Мейер. Молекулярная и клеточная биофизика [Текст]: пер. с англ. / М. Б. Джаксон. - М: Мир: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. - 551 с. (5 экз.)
7. Фотобиофизика: электрон. учеб. пособие / И. Е. Суковатая [и др.]; Сиб. федерал. ун-т. - Версия 1.0. - Электрон. дан. (9 Мб.). - Красноярск: ИПК СФУ, 2008. - 438 on-line. http://files.lib.sfu-kras.ru/ebibl/umkd/141/u_course.pdf Кудряшов Ю. Б. Радиационная биофизика / Ю. Б. Кудряшов; под ред.: Ю. Б. Мазурик, М. Ф. Ломанов; Московский университет [МГУ] им. М.В. Ломоносова. - Москва: Физматлит [Физико-математическая литература], 2004. - 442 с. (72 экз.)
8. Дистанционное зондирование в экологии топливно-энергетического комплекса России и стран Азии / И.В. Зеньков, Ю.П. Юронен, И.М. Барадудин [и др]. – Красноярск: Сибирский федеральный университет (СФУ), 2016. – 308 с.
9. Дистанционное зондирование Земли из космоса. Цифровая обработка изображений: Учебное пособие / Кашкин В.Б., Сухинин А.И. – Москва: Логос, 2001. — 264 с.
10. Дистанционные исследования Сибири: монография / Алексеев А.С., Апонасенко А.Д., Белов А.В. [и др.]. – Новосибирск: Наука, 1988. – 167 с.

Дополнительная литература

1. Волькенштейн М. В. Общая биофизика. / Волькенштейн М. В. – М: Наука, 1978. – 592с.
2. Волькенштейн М. В. Биофизика / Волькенштейн М. В. – М: Наука, 1981. – 576с.
3. Маршелл Э. Биофизическая химия / Э. Маршелл, Т1. – М.: Мир, 1981. – 358 с.
4. Романовский Ю. М. Математическая биофизика / Ю. М. Романовский, Н. В. Степанова, Д. С. Чернавский.– М: Наука, 1984. – 304с.
5. Рубин А. Б. Термодинамика биологических процессов. Учебное пособие. / Б. Рубин. – М.: Изд-во Моск. Ун-та, 1976. – 240с.
6. Финкельштейн А. В. Физика белка / А. В. Финкельштейн, О. Б. Птицын.– М.: Книжный дом «Университет», 2002. – 376с.
7. Чернавский Д. С. «Белок-машина». Биологические макромолекулярные конструкции / Д. С. Чернавский, Н. М. Чернавская. – М.: Янус, 1999. – 256 с.
8. Развитие и применение информационных технологий исследования природных ресурсов территорий Сибири на основе данных дистанционного зондирования: монография / И. В. Зеньков, С. Т. Им, А. В. Лапко [и др.]. — Красноярск: Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева, 2017. — 280 с.

9. Дистанционное изучение Земли: Основы и методы дистанционных исследований в геологии: Пер. с нем. / Кронгберг П. – Москва: Мир, 1988. – 343 с

5.3 Интернет ресурсы

1. Scopus, база данных рефератов и цитирования, <http://www.scopus.com>.
2. ScienceDirect (Elsevier), база данных научного цитирования, естественные науки, техника, медицина и общественные науки, <http://www.sciencedirect.com>.
3. Web of Science Core Collection – международная междисциплинарная база данных научного цитирования, <http://www.webofknowledge.com>.
4. Электронно-библиотечная система издательства «ЛАНЬ», <http://e.lanbook.com>.
5. Университетская библиотека ONLINE, электронно-библиотечная система, <http://biblioclub.ru/>.
6. Образовательная платформа - электронно-библиотечная система издательства «Юрайт», <https://urait.ru/>.
7. Электронно-библиотечная система Znanium.com, <http://www.znanium.com>.
8. Центральная Научная Библиотека имени Н.И. Железнова, <http://www.library.timacad.ru>.
9. United Nations Environment Program: www.unep.org.
10. eLIBRARY.RU Научная электронная библиотека, <http://elibrary.ru/>.
11. Национальная электронная библиотека, <https://rusneb.ru/>.
12. Электронная библиотека IOP Science дома научного контента от IOP Publishing, <http://iopscience.iop.org/>.
13. Электронная библиотека SPIE. Digital library, <http://spiedigitallibrary.org/>.
14. Архив научных журналов Министерства образования и науки Российской Федерации, <http://archive.neicon.ru/xmlui/>.
15. Библиотека издательства Annual Reviews, библиотека журналов <http://www.annualreviews.org>.
16. Библиотека Российского фонда фундаментальных исследований, <http://www.rfbr.ru/rffi/ru/library>.
17. Центральная научная библиотека ФИЦ КНЦ СО РАН, <http://cnb.krasn.ru>.
18. Электронная библиотека Nature, <http://www.nature.com>.
19. Электронная библиотека Science, <http://www.sciencemag.org>.
20. База данных научного цитирования издательства Taylor&Francis Group, <http://www.tandfonline.com/>.
21. Онлайн-библиотека Wiley Online Library, <http://onlinelibrary.wiley.com>.
22. Электронная библиотека журналов открытого доступа ACS Publications, <http://pubs.acs.org/>.
23. Электронная библиотека журналов Американского физического общества APS physics, <http://publish.aps.org>.
24. Электронно-библиотечная система Scitation, издательство AIP Publishing Books, <http://scitation.aip.org/>.

25. Цифровой образовательный ресурс – электронная библиотечная система IPR SMART, <http://www.iprbookshop.ru/>.
26. Библиотека издательства Oxford Academic, <http://www.oxfordjournals.org>.
27. Справочная библиотека издательства Oxford University Press, цифровая платформа Oxford Reference, <http://www.oxfordreference.com>.
28. Электронная система исследовательских журналов мирового уровня открытого доступа SAGE journals, <http://online.sagepub.com/>.

Согласовано:

Заведующий кафедрой фундаментальных
дисциплин и методологии науки



В.В. Минеев

Заведующий аспирантурой



Е.В. Нефедова

Декан факультета подготовки кадров



А.Н. Кокорин