

Приложение № 5
к программе
подготовки научных и научно-педагогических
кадров в аспирантуре
НИЦ «Курчатовский институт»
по научной специальности
1.5.2. Биофизика

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
по специальной дисциплине
«Биофизика»

1. Цель и задачи освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины «Биофизика» является дать учащимся знания о физике биологических систем, показать какие физические подходы существуют при изучении биологических объектов. При изучении курса учащиеся овладеют основами анализа кинетики биологических процессов и рассмотрят влияние различных параметров на ферментативные процессы и освоят вопросы математического моделирования внутриклеточных процессов. Будут рассмотрены линейные и нелинейные процессы, стационарные состояния биологических систем. Демонстрируются основы термодинамики необратимых процессов и ее применения к биологическим системам. Показывается применимость первого и второго законов термодинамики к биологическим системам, изменение энтропии в открытых системах. Дано понятие обобщенных сил и потоков, представлены соотношения взаимности Онзагера и показано осуществление принципа Ле-Шателье в стационарных условиях. Дана теорема Пригожина и следствия из нее. Обсуждены границы применимости равновесной термодинамики в биологии, даны основы неравновесной термодинамики и общие критерии устойчивости стационарных состояний. Показана связь между кинетикой и термодинамикой. Учащиеся будут ознакомлены с основами молекулярной биофизики. Будет дано понятие о биологических макромолекулах и надмолекулярных структурах, а также факторах влияющих на их стабильность. Особенности пространственной организации белков и нуклеиновых кислот. Модели фибриллярных и глобулярных белков. Топология и физика кольцевых замкнутых ДНК. Показано влияние статистических и механических факторов, определяющих подвижность белков. В части биофизики клеточных процессов учащиеся будут ознакомлены с основными современными направлениями в области биофизики мембранных процессов, включая структуру и свойства биомембран, электрические явления в мембранных структурах, вопросы транспорта веществ через мембраны. Значительное внимание будет уделено

вопросам, связанным с возникновением биопотенциалов и их роли в биологических системах. Представлены молекулярные механизмы процессов энергетического сопряжения в живых системах. Учащиеся получают информацию о биофизике рецепции и биофизике сократительных систем. Внимание также будет уделено фотобиологическим процессам, включая процессы фотосинтеза. Будут рассмотрены вопросы влияния ионизирующего излучения на биологические системы.

2. Место дисциплины в структуре программы подготовки научных и научно-педагогических кадров

Дисциплина «Биофизика» входит в образовательный компонент и является специальной дисциплиной программы подготовки научных и научно-педагогических кадров для научной специальности 1.5.2. «Биофизика».

В соответствии с учебным планом занятия проводятся на первом, втором году обучения (во втором, третьем, четвертых семестрах). Кандидатский экзамен сдается в четвертом семестре.

Объем дисциплины составляет 396 часов (11 зачетных единиц), из которых 198 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (лекции, занятия семинарского типа, групповые и индивидуальные консультации, мероприятия текущего контроля успеваемости и итогового контроля). Самостоятельная работа обучающегося составляет 198 часов. Текущий контроль успеваемости реализуется в рамках занятий семинарского типа, групповых и/или индивидуальных консультаций.

3. Требования к результатам освоения дисциплины

Данная дисциплина участвует в формировании следующих компетенций:

1) способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении

исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях;

2) способность планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития;

3) владение методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности;

4) владение культурой научного исследования, в том числе с использованием современных информационно-коммуникационных технологий;

5) способность самостоятельно проводить научные исследования в области биофизики и применять полученные результаты для решения научно-исследовательских и научно-инновационных задач.

В результате освоения данной дисциплины аспирант должен знать:

1) физические явления в живых системах;

2) базовые процессы, протекающие в организмах и клетках, связанные с трансформацией и использованием энергии;

3) области практического применения полученных знаний.

В результате освоения данной дисциплины аспирант должен уметь:

1) проводить необходимые эксперименты;

2) получать результаты, их обрабатывать и анализировать в рамках изучаемого метода;

3) использовать полученные результаты для проведения исследований в области биофизики и смежных дисциплинах и в практических целях.

В результате освоения данной дисциплины аспирант должен владеть:

1) основными методами и подходами к изучению живых систем с точки зрения биофизики;

2) иметь опыт научной деятельности;

3) навыками проведения исследований в области биофизики и подготовки научных сообщений.

4. Объем дисциплины, виды учебной работы (в часах), структура и содержание дисциплины

4.1. Объем и виды учебной работы (в часах) по дисциплине в целом

Вид учебной работы	Всего часов
Общая трудоемкость базового модуля дисциплины	396
Аудиторные занятия (всего)	198
В том числе:	
Лекции (Л)	144
Семинары/практические занятия (С/ПрЗ)	54
Самостоятельная работа (СР)	198
В том числе*:	
Форма текущего контроля	реферат, контрольная работа, (домашние задания, индивидуальные и групповые консультации)
Форма итогового контроля (промежуточная аттестация)	экзамен (КЭ)

* приводятся все виды самостоятельной работы по данной дисциплине

4.2. Структура и содержание дисциплины

№ п/п	Наименование разделов, тем дисциплины	Часы			
		Всего	Л	С/ПрЗ	СР
1	Общие положения биофизики	33	12	5	16
2	Кинетика биологических процессов	33	12	5	16
3	Термодинамика необратимых процессов и ее применение к биологическим системам	33	12	5	16
4	Пространственная организация биополимеров	33	12	5	16
5	Динамические свойства глобулярных белков	33	12	5	16
6	Электронные свойства биополимеров	33	12	5	16
7	Биофизика мембранных процессов	33	12	5	16
8	Молекулярные механизмы	33	12	5	16

	процессов энергетического сопряжения				
9	Биофизика сократительных систем	33	12	5	16
10	Биофизика рецепции	33	12	5	16
11	Биофизика фотобиологических процессов	33	12	2	19
12	Влияние ионизирующих излучений на живые системы	33	12	2	19
Всего		396	144	54	198

4.2.1 Содержание лекционного курса

№ темы	Всего часов	Содержание разделов дисциплины
1	2	3
1	24	Предмет биофизики, ее место в естествознании. Взаимосвязь физических, физико-химических и биологических процессов в живых организмах. Разделы и методы биофизики. Математические методы в биофизике. Понятие математической модели. Задачи и возможности математического моделирования в биологии. Линейные и нелинейные процессы. Методы качественной теории дифференциальных уравнений в анализе динамических свойств биологических процессов. Понятие фазовой плоскости
2	6	Общая характеристика реакций в биологических системах. Описание динамики биологических процессов на языке химической кинетики. Стационарные состояния биологических систем. Устойчивость стационарных состояний. Быстрые, медленные переменные. Временная иерархия и принцип узкого места. 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. Общие принципы регулирования и анализа более сложных ферментативных реакций. Применение метода графов. Множественность стационарных состояний

		<p>биологических систем. Модели триггерного типа. Управляющие параметры. Параметрическое и силовое переключение триггера. Примеры моделей триггерных систем. 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</p>
3	30	<p>Классификация термодинамических систем. Первый закон термодинамики и его применение к биологическим системам. Второй закон термодинамики в биологии. 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</p>
4	26	<p>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. Фазовые переходы. Кооперативные свойства макромолекул. Различные типы объемных взаимодействий</p>

		<p>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. Взаимодействие макромолекул с растворителем. Состояние воды и гидрофобные взаимодействия в биоструктурах. Переходы спираль-клубок.</p> <p>Особенности пространственной организации белков и нуклеиновых кислот. Модели фибриллярных и глобулярных белков. Топология и физика кольцевых замкнутых ДНК</p>
5	6	<p>Взаимодействие статистических и механических факторов, определяющих динамическую подвижность белков. Динамическая структура глобулярных белков; конформационная подвижность. Возможности современных методов структурной биологии для изучения конформационной подвижности глобулярных белков. Лазеры на свободных электронах, XFEL. Результаты исследования конформационной подвижности. Типы движения в белках. Роль воды в динамике белков. Роль конформационной подвижности в функционировании ферментов и транспортных белков. Белок-машины, примеры, анализ работы, факторы, влияющие на их работу</p>
6	8	<p>Химические взаимодействия в макромолекулах. Цепь главных валентностей. Примеры расчетов взаимодействия атомов в пептидной группе и в азотистых основаниях. 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</p>
7	8	<p>Мембрана как универсальный компонент биологических систем. Структурная организация мембран. Характеристика мембранных белков. Вода как составной элемент биомембран. Модельные мембранные системы. Монослойные мембраны на границе раздела фаз. Бислойные</p>

	<p> 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. Проблема транспорта веществ через биомембраны. 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. 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. 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. Уравнение поля Гольдмана. Мембранная теория Ходжкина-Хаксли-Катца. Экспериментальные доказательства наличия транспорта ионов натрия. </p>
--	---

		Транспортные АТФазы. Модели параллельно функционирующих пассивных и активных каналов транспорта ионов через мембрану
8	8	<p>Транспорт ионов водорода, калия и кальция через мембраны митохондрий и хлоропластов. Хемосмотическая 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. 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.</p> <p>Сопрягающие комплексы, их локализация в мембране; конформационные перестройки в процессе образования макроэрга. Физические аспекты и модели энергетического сопряжения</p>
9	8	<p>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. Модель скользящих филаментов. Механическая модель активного состояния мышц. Основы биомеханики. Молекулярные механизмы немышечной подвижности</p>
10	8	<p>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</p>

		<p>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. 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</p>
11	8	<p>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.</p>
12	24	<p>Виды ионизирующих излучений. Основы взаимодействия ионизирующих излучений с веществом. Радиолит воды. Основы клеточной радиобиологии. Влияние различных ионизирующих излучений на разные биологические</p>

		системы. Устойчивость организмов к ионизирующим излучениям. Молекулярные и клеточные механизмы. Основы молекулярной радиобиологии. Эффекты малых доз.
--	--	---

4.2.2 Содержание семинаров и (или) практических занятий

№ темы	Всего часов	Содержание разделов дисциплины
1	2	3
1	2	<p>Предмет биофизики, ее место в естествознании. Взаимосвязь физических, физико-химических и биологических процессов в живых организмах.</p> <p>Математические методы в биофизике.</p> <p>Примеры математических моделей. Константное обеспечение.</p> <p>Линейные и нелинейные процессы.</p> <p>Методы качественной теории дифференциальных уравнений в анализе динамических свойств биологических процессов.</p> <p>Понятие фазовой плоскости.</p>
2	5	<p>Общая характеристика реакций в биологических системах. Описание динамики биологических процессов на языке химической кинетики.</p> <p>Стационарные состояния биологических систем. Устойчивость стационарных состояний.</p> <p>Быстрые, медленные переменные. Временная иерархия и принцип узкого места. Понятие о методе квазистационарных концентраций.</p> <p>Колебательные процессы в биологии, значение их теоретического исследования. Понятие автоколебательного режима динамической модели. Предельные циклы. Примеры автоколебательных моделей.</p> <p>Кинетика ферментативных реакций. Особенности механизма ферментативных процессов. Стационарная кинетика ферментативных реакций. Уравнение Михаэлиса-Ментен. Влияние различных факторов на кинетику ферментативных реакций. Общие принципы регулирования и анализа более сложных ферментативных реакций. Применение метода графов. Примеры анализа метаболических потоков.</p> <p>Множественность стационарных состояний биологических систем. Модели триггерного типа. Управляющие параметры. Модели экологических систем. Понятие распределенных систем. Математический аппарат описания распределенных систем - уравнения в частных производных. Активные химические и биологические среды. Модель Тьюринга.</p>

		<p>Распространение возмущений в активных химических и биологических средах. Пространственно-неоднородные стационарные состояния - диссипативные структуры. Устойчивые и неустойчивые структуры в биологическом морфогенезе. Модели дифференцировки тканей.</p>
3	5	<p>Классификация термодинамических систем. Первый закон термодинамики и его применение к биологическим системам. Второй закон термодинамики в биологии. Понятие термодинамического равновесия. Примеры расчетов стандартных энергий реакций в биологических системах. Изменение энтропии в открытых системах. Термодинамические условия осуществления стационарного состояния.</p> <p>Линейные соотношения и соотношения взаимности Онзагера. Стационарное состояние и условие минимума скорости прироста энтропии. Теорема Пригожина. Осуществление принципа Ле-Шателье в стационарных состояниях.</p> <p>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. Примеры решения задач.</p> <p>Связь энтропии и информации в биологических системах. Понятие количества и ценности информации. Условия запасаания, хранения и переработки информации в макромолекулярных системах. Применение методов теории информации.</p>
4	5	<p>Общие понятия стабильности конфигурации молекул, энергия связи. Макромолекула как основа организации биоструктур. Своеобразие макромолекул как физического объекта.</p> <p>Общий характер объемных взаимодействий и влияние внешнего поля на стабильность конформации биополимеров. Фазовые переходы. Кооперативные свойства макромолекул. Расчет конформационной энергии. Конформация полипептидной цепи. Стерические карты.</p> <p>Взаимодействие макромолекул с растворителем. Состояние воды и гидрофобные взаимодействия в биоструктурах. Переходы спираль-клубок.</p> <p>Особенности пространственной организации белков</p>

		и нуклеиновых кислот. Модели фибриллярных и глобулярных белков. Топология и физика кольцевых замкнутых ДНК. Примеры.
5	5	Взаимодействие статистических и механических факторов, определяющих динамическую подвижность белков. Динамическая структура глобулярных белков; конформационная подвижность. Возможности современных методов структурной биологии для изучения конформационной подвижности глобулярных белков. Лазеры на свободных электронах, XFEL. Примеры полученных результатов, сравнение различных методов. Результаты исследования конформационной подвижности. Примеры. Белок-машины, примеры, анализ работы, факторы, влияющие на их работу.
6	5	Химические взаимодействия в макромолекулах. Цепь главных валентностей. Примеры расчетов взаимодействия атомов в пептидной группе и в азотистых основаниях. 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. Примеры явлений и возможные пути расчета. Современные представления о механизмах ферментативного катализа. Строение активного центра и электронные взаимодействия в фермент-субстратном комплексе.
7	5	Мембрана как универсальный компонент биологических систем. Структурная организация мембран. Характеристика мембранных белков. Вода как составной элемент биомембран. Монослойные мембраны на границе раздела фаз. Бислойные мембраны. Протеолипосомы. Примеры и эквивалентные схемы биологических мембран. Физико-химические механизмы стабилизации мембран. Дисперсия электропроводности, емкости, диэлектрической проницаемости биоструктур. Зависимость диэлектрических потерь от частоты. Проблема транспорта веществ через биомембраны. 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. Примеры

		<p>и задачи.</p> <p>Транспорт неэлектролитов. Связь проницаемости мембран с растворимостью проникающих веществ в липидах. Примеры и задачи.</p> <p>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. Математические модели, описывающие работу различных каналов.</p> <p>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. 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.</p>
8	5	<p>Транспорт ионов водорода, калия и кальция через мембраны митохондрий и хлоропластов. Хемиосмотическая теория Митчела. Сопряженный транспорт.</p> <p>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.</p> <p>Связь биоэлектрических явлений с метаболизмом и распространением возбуждения.</p> <p>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.</p> <p>Связь транспорта ионов и процессов переноса электрона в хлоропластах и митохондриях.</p> <p>Основные положения теории Митчела; электрохимический градиент протонов; энергизованное состояние мембран; роль векторной H' - АТФазы.</p>

		<p>Сопрягающие комплексы, их локализация в мембране; конформационные перестройки в процессе образования макроэрга.</p> <p>Физические аспекты и модели энергетического сопряжения.</p>
9	5	<p>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. Модель скользящих филаментов.</p> <p>Механическая модель активного состояния мышц. Основы биомеханики. Примеры расчета биомеханических систем. Синтетические аналоги и перспективы их применения. Молекулярные механизмы немышечной подвижности.</p>
10	5	<p>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.</p> <p>Механорецепция. Рецепторные окончания кожи, проприорецепторы. Электрорецепция.</p> <p>Хеморецепция. Обоняние. Восприятие запахов: пороги, классификация запахов. Примеры.</p> <p>Вкус. Строение вкусовых клеток; проблема вкусовых рецепторных белков.</p> <p>Рецепция медиаторов и гормонов. Проблема клеточного узнавания, Механизмы взаимодействия клеточных поверхностей.</p>
11	4	<p>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. Люминесценция биологически важных молекул.</p> <p>Фотохимические процессы, квантовый выход и сечение фотореакции.</p> <p>Кинетика фотобиологических процессов и зависимость от интенсивности света. Фотосенсибилизация.</p> <p>Фотосинтез. Спектр действия, поглощение и миграция энергии в фотосинтетической единице. Механизмы разделения зарядов в реакционном центре. Генерация</p>

		<p>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.</p> <p>Особенности и механизмы фотоэнергетических реакций бактериородопсина и зрительного пигмента родопсина.</p> <p>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.</p>
12	2	<p>Виды ионизирующих излучений. Основы взаимодействия ионизирующих излучений с веществом. Радиоллиз воды.</p> <p>Основы клеточной радиобиологии.</p> <p>Влияние различных ионизирующих излучений на разные биологические системы.</p> <p>Устойчивость организмов к ионизирующим излучениям.</p> <p>Молекулярные и клеточные механизмы.</p> <p>Основы молекулярной радиобиологии.</p> <p>Эффекты малых доз.</p>

5. Образовательные технологии

1. При реализации настоящей дисциплины предусмотрено применение следующих образовательных технологий: лекции-визуализации (все лекции сопровождаются презентациями), проблемные лекции с дискуссией (на каждой лекции рассматриваются проблемные вопросы по актуальным направлениям развития предмета).

2. В учебном процессе помимо чтения лекций широко используются активные и интерактивные формы. Совместное и самостоятельное решение аспирантами задач по темам лекций на занятиях семинарского типа, самостоятельное изучение предложенных тем и выступление с докладами на занятиях.

В сочетании с внеаудиторной работой это способствует формированию и развитию профессиональных навыков обучающихся.

6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы аспирантов.

Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины

№ темы	Всего часов	Вопросы для самостоятельного изучения (задания)	Литература
1	2	3	4
1	6	Понятие адекватности модели реальному объекту. Принципы построения математических моделей биологических систем	основная литература
2	6	Влияние температуры на скорость реакций в биологических системах. Теория абсолютных скоростей реакций и активированного комплекса. Ограничения применимости этих представлений в биоструктурах	основная литература; дополнительная литература
3	6	Понятие термодинамического равновесия. Расчеты стандартных энергий реакций в биологических системах	основная литература; дополнительная литература
4	6	Факторы стабилизации макромолекул, надмолекулярных структур и биомембран	основная литература; дополнительная литература
5	6	Методы изучения конформационной подвижности: изотопный обмен, люминесцентные методы, спиновая метка, гамма-резонансная метка, ЯМР высокого разрешения, импульсные методы ЯМР	основная литература; дополнительная литература
6	6	Схема Яблонского для сложных молекул. Принцип Франка-Кондона и законы флуоресценции. Люминесценция биологически важных молекул	основная литература; дополнительная литература

7	6	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	основная литература; дополнительная литература
8	6	Протеолипосомы как модель для изучения механизма энергетического сопряжения. Бактериородопсин как молекулярный фотоэлектрический генератор	основная литература; дополнительная литература
9	6	Функционирование поперечнополосатой мышцы позвоночных. Модели Хаксли, Дещеревского, Хилла	основная литература
10	6	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	основная литература
11	6	Взаимодействие лазерного излучения с биоструктурами	основная литература
12	6	История радиобиологии и области ее практического применения	основная литература

Текущий контроль (промежуточный) проводится на 7 и 14 неделе в форме контрольной работы с оценкой по пятибалльной системе. Критерии формирования оценки – уровень знаний пройденной части курса.

Пример задания на первой промежуточной контрольной работе:

1. Понятие математической модели. Задачи и возможности математического моделирования в биологии. Понятие адекватности модели

реальному объекту. Принципы построения математических моделей биологических систем.

2. 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.

3. Факторы стабилизации макромолекул, надмолекулярных структур и биомембран.

Пример задания на второй промежуточной контрольной работе:

1. Мембрана как универсальный компонент биологических систем. Структурная организация мембран. Характеристика мембранных белков. Вода как составной элемент биомембран. Модельные мембранные системы. Монослойные мембраны на границе раздела фаз. Бислойные мембраны. Протеолипосомы.

2. Связь биоэлектрических явлений с метаболизмом и распространением возбуждения.

3. Кинетика фотобиологических процессов и зависимость от интенсивности света. Фотосенсибилизация.

Итоговый контроль – экзамен (КЭ).

Примеры экзаменационных вопросов:

1. 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.

2. Эффекты малых доз ионизирующих излучений.

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

4. 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

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

6. 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.

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

I. Основная литература:

1. Ковальчук, М.В. Идеология природоподобных технологий / Михаил Ковальчук; Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт». – Москва: Физматлит, 2021. – 336 с. – ISBN 978-5-9221-1931-3.

2. Бинги, В.Н. Принципы электромагнитной биофизики / В.Н. Бинги. – Москва: Физматлит, 2011. – 591 с.: ил. - ISBN 978-5-9221-13 33-5.

3. Кудряшов, Ю.Б. Радиационная биофизика: радиочастотные и микроволновые электромагнитные излучения: Учеб. / Ю.Б. Кудряшов. – М.: Физматлит, 2009. – 184 с.: ил. – ISBN 978-5-9221-0848-5.

4. Основы физики и биофизики: Учебное пособие для вузов / А.И. Журавлев [и др.; ред. А.И. Журавлев. – М.: Мир, 2005. – 383 с.: ил., табл. – (Учебники и учебные пособия для студентов высших учебных заведений). – ISBN 5-03-003654-7.

II. Дополнительная литература:

1. Рубин, А.Б. Биофизика (в 3 томах). – М., Высшая школа, 2013 г. – Текст: электронный. DOI отсутствует. – URL:

<http://www.library.biophys.msu.ru/rubin/> (дата обращения: 12.09.2022).

2. Баника, Флоринель-Габриель. Химические и биологические сенсоры: основы и применения [Текст] / Ф.-Г. Баника; пер. с англ. И. М. Лазера, под ред. В. А. Шубарева. - Москва: Техносфера, 2014. - 879 с. – ISBN 978-5-94836-380-6.

3. Джаксон, Мейер Б. Молекулярная и клеточная биофизика / М. Джаксон; пер. с англ. под ред. А. П. Савицкого, А. И. Журавлева. - Москва: Мир: БИНОМ. Лаб. знаний, 2009. - 551 с. – ISBN 978-5-9963-0011-2.

III. Доступ к электронным библиотекам:

1. Фонд знаний «Ломоносов»: [сайт]. URL: <http://lomonosov-fund.ru/enc/ru/encyclopedia:01270:article> (дата обращения: 12.09.2022).

2. Онлайн-каталог DOAJ: [сайт]. – URL: <https://doaj.org/>;

3. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU: [сайт]. – URL: <https://elibrary.ru/defaultx.asp> (дата обращения: 12.09.2022).

4. Сервер документов ЦЕРН: [сайт]. – URL: <https://cds.cern.ch/> (дата обращения: 18.09.2022).

5. Открытый доступ к журналам по физике и астрономии Physics related free-access Journals: [сайт]. – URL: <https://www.elsevier.com/physical-sciences-and-engineering/physics-and-astronomy/journals/open-access-in-physics-journals> (дата обращения: 23.09.2022).

6. Большая научная библиотека: [сайт]. – URL: <http://www.sci-lib.net/> (дата обращения: 23.09.2022).

7. Научная электронная библиотека диссертаций и авторефератов: [сайт]. – URL: <https://www.dissercat.com/> (дата обращения: 15.09.2022).

8. Электронная библиотека механико-математического факультета Московского государственного университета: [сайт]. – URL: <http://lib.mexmat.ru/index.php> <https://www.rfbr.ru/rffi/ru/bulletin> (дата обращения: 15.09.2022).

9. Электронная библиотека Российского фонда фундаментальных исследований: [сайт]. – URL: <https://www.rfbr.ru/rffi/ru/library> (дата

обращения: 12.09.2022).

10. Вестник РФФИ: [сайт]. – URL: <https://www.rfbr.ru/rffi/ru/bulletin> (дата обращения: 15.09.2022).

11. Книги, изданные при поддержке РФФИ: [сайт]. – URL: <https://www.rfbr.ru/rffi/ru/books> (дата обращения: 15.09.2022).

IV. Перечень ресурсов Интернет, необходимых для освоения дисциплины:

12. Фонд знаний «Ломоносов»: [сайт]. URL: <http://lomonosov-fund.ru/enc/ru/encyclopedia:01270:article> (дата обращения: 28.06.2022).

13. Электронная библиотека Платонанет: [сайт]. – URL: https://platona.net/load/knigi_po_filosofii/2 (дата обращения: 28.06.2022).

14. Онлайн-каталог DOAJ: [сайт]. – URL: <https://doaj.org/> (дата обращения: 28.06.2022).

15. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU: [сайт]. – URL: <https://elibrary.ru/defaultx.asp> (дата обращения: 30.07.2022).

16. Сервер документов ЦЕРН: [сайт]. – URL: <https://cds.cern.ch/> (дата обращения: 30.07.2022).

17. Открытый доступ к журналам по физике и астрономии Physics related free-access Journals: [сайт]. – URL: <https://www.elsevier.com/physical-sciences-and-engineering/physics-and-astronomy/journals/open-access-in-physics-journals> (дата обращения: 30.07.2022).

18. Большая научная библиотека: [сайт]. – URL: <http://www.sci-lib.net/> (дата обращения: 12.08.2022).

19. Научная электронная библиотека диссертаций и авторефератов: [сайт]. – URL: <https://www.dissercat.com/> (дата обращения: 12.08.2022).

20. Электронная библиотека механико-математического факультета Московского государственного университета: [сайт]. – URL: <http://lib.mexmat.ru/index.php> (дата обращения: 12.08.2022).

21. Электронная библиотека Российского фонда фундаментальных исследований: [сайт]. – URL: <https://www.rfbr.ru/rffi/ru/library> (дата

обращения: 12.08.2022).

22. Вестник РФФИ: [сайт]. – URL: <https://www.rfbr.ru/rffi/ru/bulletin> (дата обращения: 30.08.2022).

23. Книги, изданные при поддержке РФФИ: [сайт]. – URL: <https://www.rfbr.ru/rffi/ru/books> (дата обращения: 30.08.2022).

V. Доступ к журналам и базам публикаций различных научных издательств:

1. Электронный доступ к коллекции из 15 журналов базы данных компании Американского физического общества (APS). База данных APS содержит журналы по ядерной физике, физике высоких энергий, астрофизике, математической физике, механике и др.: [сайт]. – URL: <https://www.aps.org/> (дата обращения: 12.09.2022).

2. Электронный доступ к коллекции из 17 журналов базы данных компании AIP Publishing LLC (AIP). Тематические рубрики изданий включают основные разделы физики и смежных областей знания: [сайт]. – URL: <https://www.aip.org/> (дата обращения: 12.09.2022).

3. Электронный доступ и использование баз данных журналов компании IOP PUBLISHING LIMITED: База данных журнала Nuclear Fusion: [сайт]. – URL: <https://www.iop.org/> (дата обращения: 12.09.2022).

4. Электронный доступ к журналам и книгам издательства Elsevier на платформе ScienceDirect: [сайт]. – URL: <http://info.sciencedirect.com/techsupport/journals/freedomcoll.htm> (дата обращения: 12.09.2022).

5. Электронный доступ к журналам, книгам и базам данных издательства Springer_Nature: [сайт]. – URL: <https://www.springernature.com/gp> (дата обращения: 12.09.2022).

6. Электронный доступ к базе данных Cambridge Crystallographic Data Centre. База данных Кембриджского центра структурных данных CSD-Enterprise содержит данные о строении кристаллических органических и элементарноорганических соединений (800 000 структур, он-лайн и офф-лайн

версии), комплекс программ для работы с ними для биологов, химиков и кристаллографов: [сайт]. – URL: <https://www.ccdc.cam.ac.uk/> (дата обращения: 12.09.2022).

VI. Электронный доступ к следующим изданиям:

1. Web of Science (авторитетная политематическая реферативно-библиографическая и наукометрическая (библиометрическая) база данных: [сайт]. – URL: <https://webofknowledge.com/> (дата обращения: 12.09.2022).

2. Scopus (мультидисциплинарная библиографическая и реферативная база данных и инструмент для отслеживания цитируемости статей, опубликованных в научных изданиях): [сайт]. – URL: <https://www.scopus.com/search/form.uri?display=basic#basic> (дата обращения: 12.09.2022).

3. Коллекция журналов Wiley (более 1600 изданий) с глубиной архива с 1997 г. по текущий момент: [сайт]. – URL: <https://www.wiley.com/> (дата обращения: 25.09.2022).

4. Science (один из самых авторитетных научных журналов Американской ассоциации содействия развитию науки): [сайт]. – URL: <https://www.science.org/> (дата обращения: 17.09.2022).

5. Institute of Physics (охватывает три направления области физики: образование, исследования и разработки): [сайт]. – URL: <https://www.iop.org/> (дата обращения: 15.08.2022).

6. Электронный доступ к архивам научных журналов: Annual Reviews: [сайт]. – URL: <https://www.annualreviews.org/> (дата обращения: 12.09.2022).

7. Cambridge University Press: [сайт]. – URL: <https://www.cambridge.org/core> (дата обращения: 21.06.2022).

8. Nature: [сайт]. – URL: <https://www.nature.com/> (дата обращения: 13.08.2022).

9. Oxford University Press: [сайт]. – URL: <https://global.oup.com/?cc=ru> (дата обращения: 12.09.2022).

10. SAGE Publications: [сайт]. – URL: <https://us.sagepub.com/en-us/nam/home> (дата обращения: 03.09.2022).

11. Science Magazine: [сайт]. – URL: <https://www.science.org/> (дата обращения: 14.09.2022).

12. Springer Journals Archiv с 1832 - 1996 гг.: [сайт]. – URL: <https://link.springer.com/> (дата обращения: 22.08.2022).

13. Taylor&Francis: [сайт]. – URL: <https://taylorandfrancis.com/> (дата обращения: 12.09.2022).

14. Wiley: [сайт]. – URL: <https://www.wiley.com/> (дата обращения: 12.09.2022).

VI. Электронный доступ к следующим изданиям:

1. Web of Science (авторитетная политематическая реферативно-библиографическая и наукометрическая (библиометрическая) база данных: [сайт]. – URL: <https://webofknowledge.com/> (дата обращения: 12.09.2022).

2. Scopus (мультидисциплинарная библиографическая и реферативная база данных и инструмент для отслеживания цитируемости статей, опубликованных в научных изданиях): [сайт]. – URL: <https://www.scopus.com/search/form.uri?display=basic#basic> (дата обращения: 12.09.2022).

3. Коллекция журналов Wiley (более 1600 изданий) с глубиной архива с 1997 г. по текущий момент: [сайт]. – URL: <https://www.wiley.com/> (дата обращения: 25.09.2022).

4. Science (один из самых авторитетных научных журналов Американской ассоциации содействия развитию науки): [сайт]. – URL: <https://www.science.org/> (дата обращения: 17.09.2022).

5. Institute of Physics (охватывает три направления области физики: образование, исследования и разработки): [сайт]. – URL: <https://www.iop.org/> (дата обращения: 15.08.2022).

6. Электронный доступ к архивам научных журналов: Annual Reviews: [сайт]. – URL: <https://www.annualreviews.org/> (дата обращения: 12.09.2022).
7. Cambridge University Press: [сайт]. – URL: <https://www.cambridge.org/core> (дата обращения: 21.06.2022).
8. Nature: [сайт]. – URL: <https://www.nature.com/> (дата обращения: 13.08.2022).
9. Oxford University Press: [сайт]. – URL: <https://global.oup.com/?cc=ru> (дата обращения: 12.09.2022).
10. SAGE Publications: [сайт]. – URL: <https://us.sagepub.com/en-us/nam/home> (дата обращения: 03.09.2022).
11. Science Magazine: [сайт]. – URL: <https://www.science.org/> (дата обращения: 14.09.2022).
12. Springer Journals Archiv с 1832 - 1996 гг.: [сайт]. – URL: <https://link.springer.com/> (дата обращения: 22.08.2022).
13. Taylor&Francis: [сайт]. – URL: <https://taylorandfrancis.com/> (дата обращения: 12.09.2022).
14. Wiley: [сайт]. – URL: <https://www.wiley.com/> (дата обращения: 12.09.2022).

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

1. При освоении дисциплины необходимы стандартная учебная аудитория с доской, ноутбук, мультимедийный проектор, экран. Аспирантам должен быть обеспечен доступ к сети Интернет и свободный доступ к библиотеке периодических изданий по предмету (в том числе и к электронным изданиям).
2. Лекции проводятся в стандартной аудитории, оснащенной в соответствии с требованиями преподавания теоретических дисциплин.

3. Практические занятия проводятся в лабораториях Курчатовского комплекса НБИКС-природоподобных технологий, Курчатовского комплекса физико-химических технологий.