

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе
и образовательным инновациям

О.Н. Здрок

«14» июня 2021 г.

Регистрационный № УД- 9743/уч.

МОЛЕКУЛЯРНАЯ БИОФИЗИКА

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

1-31 04 01 Физика (по направлениям)

Направление специальности

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

2021 г.

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

СОСТАВИТЕЛЬ:

Е.И. Коваленко – доцент кафедры биофизики Белорусского государственного университета, кандидат биологических наук, доцент

РЕЦЕНЗЕНТ:

Лукьяненко Л.М., зам. директора по научной работе ГНУ «Институт биофизики и клеточной инженерии НАН Беларуси», к.б.н.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

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

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

Заведующий кафедрой биофизики
д.б.н., доцент



Г.Г. Мартинович

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Цели и задачи учебной дисциплины

Цель учебной дисциплины — освоение студентами знаний в области физики информационных биополимеров: белков, ферментов, нуклеиновых кислот, а также изучение механизмов процессов синтеза нуклеиновых кислот и белков.

Задачи учебной дисциплины:

1. Ознакомить студентов с физическими свойствами линейных полимеров и методами, применяемыми для их исследования
2. Ознакомить студентов с моделями, применяемыми для описания сворачивания полимеров, ввести понятия «клубок» и «глобула», привести базовые термодинамические и статистические характеристики полимеров
3. Ознакомить студентов с особенностями структурной организации информационных биополимеров, физических основ формирования пространственной структуры белков и нуклеиновых кислот
4. Заложить базовые представления о структуре ферментов, о термодинамических характеристиках ферментативного катализа, рассмотреть модели, описывающие ферментативный катализ, способы регуляции активности ферментов
5. Ознакомить студентов с основными физическими свойствами белков и нуклеиновых кислот
6. Рассмотреть подходы к математическому моделированию структуры биополимеров и их комплексов
7. Ознакомить студентов с ключевыми процессами формирования биополимеров организме, рассмотреть взаимосвязь структуры и функций различных биополимеров

Место учебной дисциплины в системе подготовки специалиста с высшим образованием.

Учебная дисциплина относится к **циклу** дисциплин специализации компонента учреждения высшего образования.

Учебная дисциплина базируется на знаниях и представлениях, заложенных при изучении ряда физических дисциплин, в которых рассматриваются основы физических методов исследования конденсированных материалов. Программа дисциплины тесно **связана** с дисциплинами «Основы биохимии. Основы физиологии» (5 семестр) и «Физика коллоидных систем» (6 семестр).

Требования к компетенциям

Освоение учебной дисциплины «Молекулярная биофизика» должно обеспечить формирование следующих академических, социально-личностных и профессиональных компетенций:

академические компетенции:

АК-1. Уметь применять базовые научно-теоретические знания для решения теоретических и практических задач.

АК-2. Владеть системным и сравнительным анализом.

АК-3. Владеть исследовательскими навыками.

АК-4. Уметь работать самостоятельно.

АК-5. Быть способным порождать новые идеи (обладать креативностью).

АК-6. Владеть междисциплинарным подходом при решении проблем.

АК-7. Иметь навыки, связанные с использованием технических устройств, управлением информацией и работой с компьютером.

АК-8. Иметь лингвистические навыки (устная и письменная коммуникация).

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

социально-личностные компетенции:

СЛК-2. Быть способным к социальному взаимодействию.

СЛК-3. Обладать способностью к межличностным коммуникациям.

СЛК-5. Быть способным к критике и самокритике.

СЛК-6. Уметь работать в команде.

профессиональные компетенции:

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

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

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

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

В результате освоения учебной дисциплины студент должен:

знать:

структурные особенности биополимеров, иерархию формирования структуры биополимеров, базовые механизмы функционирования белков и нуклеиновых кислот; механизмы синтеза биополимеров; основные физические свойства полимеров и биополимеров, в частности; основные физические методы исследования свойств биополимеров; базовые математические модели для описания формирования и предсказания пространственной структуры биополимеров, математические модели для

описания функционирования биополимеров и их взаимодействия с лигандами.

уметь:

применять теоретические знания и математические модели для анализа структуры и свойств биополимеров.

владеть:

базовыми методическими подходами к анализу свойств биомолекул.

Структура учебной дисциплины

Дисциплина изучается в 6 семестре дневной формы получения высшего образования. Всего на изучение учебной дисциплины «Молекулярная биофизика» для очной формы получения высшего образования отведено:

– 106 часов, в том числе 48 аудиторных часов, из них: лекции – 40 часов, управляемая самостоятельная работа – 8 часов.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 3 зачетные единицы.

Форма текущей аттестации – экзамен.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Раздел 1. Введение. Основы физики полимеров

Тема 1.1. Введение. Молекулярная биофизика: характеристика объектов, задачи исследований, связь с другими научными дисциплинами, место молекулярной биофизики в структуре биофизических знаний. Методы изучения макромолекул.

Тема 1.2. Элементы физики полимеров

Занятие 1.2.1. Типы полимеров. Степень полимеризации и масса полимера. Распределения по степеням полимеризации и массам в смеси полимеров. Разновидности молекулярных масс полимеров и методы их определения. Фракционирование полимеров.

Занятие 1.2.2. Свободно-сочлененная модель. Сворачивание полимера в клубок, торсионные углы, конформация полимера. Применение распределения Гаусса для расчета размера клубка. Энтропия клубка. Упругие свойства полимеров. Энтропийный характер процессов растяжения-сжатия клубка. Конфигурация молекулы. Валентные углы и ограничение свободы вращения, размер клубка с учетом валентных углов.

Занятие 1.2.3. Нековалентные взаимодействия между элементами полимера, ротамеры. Ограничение вращения вследствие ван-дер-ваальсовых взаимодействий. Тормозящие потенциалы и их расчет в моделях Леннарда-Джонса, Китайгородского и др. Ротамеры этана и бутана, функция зависимости энергии нековалентных взаимодействий от торсионных углов, понятие устойчивых конформаций. Заселенность уровней энергии различных конформаций. Средний косинус вращения. Формула Ока. Поворотной-изомерная теория. Статистические характеристики полимера. Термодинамическая и кинетическая гибкость цепи.

Занятие 1.2.4. Жесткие полимеры. Сворачивание жестких макромолекул, модель упругого скручивающегося стержня. Расчет косинуса угла между звеньями. Персистентная длина. Размер клубка жесткого полимера с учетом персистентной длины. Эффективная длина Куна, переход к свободно-сочлененной модели. Примеры жестких биополимеров.

Занятие 1.2.5. Объемные взаимодействия. Плотность звеньев, флуктуации плотности в клубке и глобуле. Переходы глобула-клубок при изменении температуры и при растворении. Изменение энергии клубка и глобулы, термодинамика переходов «глобула-клубок». Кооперативность конформационных превращений.

Раздел 2. Физика белка

Тема 2.1. Задачи физики белка. Иерархия структуры белка. Белок как упорядоченный самоорганизующийся аperiодический кристалл. Иерархия «архитектуры» белка. Связь структуры и функции белка. Полипептидная цепь. Конформация и конфигурация полипептидной цепи. Характеристика пептидной связи. Первичная структура белка.

Тема 2.2. Вторичная структура белка. Взаимодействия, определяющие формирование вторичной структуры. Характеристика регулярных элементов вторичной структуры белков (спиралей, β -складчатых форм), шпилек. Способность различных аминокислот к формированию определенных форм вторичной структуры белка. Стерические карты для различных аминокислот и их соответствие регулярным вторичным структурам. Физические особенности различных видов вторичных структур белка.

Тема 2.3. Третичная структура белка. Взаимодействия, определяющие формирование третичной структуры. Домены, их классификация, примеры различных типов доменов. Электронные базы данных белков, доменов белков и других биополимеров. Свойства и функции доменов.

Тема 2.4. Четвертичная структура белка. Классификация белков по их структуре (глобулярные и фибриллярные, олигомерные и мультимерные белки). Строение фибриллярных белков (фиброина, коллагена, кератина) и их использование в биотехнологиях. Строение и функционирование гемоглобина и миоглобина, антител, белков цитоскелета и внеклеточного матрикса. Мембранные белки.

Тема 2.5. Физико-химические свойства белков. Динамичность и деформируемость белков, типы движения в белках. Уравнение Ланжевена. Поверхность конформационной энергии, уравнение Фоккера-Планка. Численное моделирование, корреляционные функции и их применение к изучению динамики. Связь характеристик конформационной подвижности белков с их функциональными свойствами. Факторы стабилизации белковой глобулы. Ренатурация и денатурация белков, переходы «глобула-клубок» и «спираль-клубок», кооперативный характер переходов. Тепловая денатурация белков. Статистическое термодинамическое описание переходов «спираль-клубок», теория Зимма-Брега, матричный метод модели Изинга. Предсказание пространственной структуры белков. Экспериментальные методы исследования динамики белков.

Тема 2.6. Физика ферментов. Структурные особенности ферментов. Термодинамика ферментативного катализа. Формулы Аррениуса и Эйринга. Понятие гомогенного и гетерогенного катализа. Факторы, ответственные за действие ферментов по Браунштейну. Конформационные свойства ферментов, модели Фишера и Кошланда. Модель упругих напряжений и колебаний в активном центре фермента. Электронно-конформационные взаимодействия. Способы регуляции активности ферментов. Математический анализ кинетики ферментативного катализа в отсутствие и присутствии ингибиторов.

Раздел 3. Биофизика нуклеиновых кислот

Тема 3.1. Структурные характеристики нуклеиновых кислот. Характеристика полинуклеотидной цепи. Конформации ДНК. Первичная структура нуклеиновых кислот. Полиморфизм вторичной структуры ДНК (А,

В, С, Z-формы). Роль стэкинг-взаимодействий и водородных связей в стабилизации пространственной структуры нуклеиновых кислот. Топология ДНК прокариот. Сверхспиральные структуры ДНК.

Тема 3.2. Надмолекулярная структура ДНК. Нуклеопротеиновые комплексы. Ядерные дезоксирибонуклеопротеиды (ДНП) как основа структуры хроматина. Гистоны и негистоновые белки. Конформация ДНК и белков в ДНП. Хроматин. Состав нуклеосомы. Гистоны и негистоновые белки. Наднуклеосомная организация хроматина. Хромосомы. Современные представления о нуклеосомной и наднуклеосомной организации хроматиновой фибриллы.

Тема 3.3. Различные виды РНК, их структура и функции. Особенности вторичной и третичной структуры т-РНК. Информационные и рибосомальные РНК. Регуляторные РНК. Вирусные РНК.

Тема 3.4. Физико-химические свойства ДНК и РНК. Вязкость и молекулярная масса ДНК. Упругость ДНК, физические модели скручивания, укладки ДНК. Стабильность вторичной структуры ДНК и переходы «спираль-клубок». Взаимодействие ДНК с растворителем. Денатурация и ренатурация ДНК. Факторы, влияющие на стабильность и денатурацию нуклеиновых кислот. Структура и стабильность одноцепочечных нуклеиновых кислот. Кривые плавления нуклеиновых кислот. Механизмы связывания нуклеиновых кислот с лигандами. Использование ДНК и РНК в биотехнологиях.

Тема 3.5. Процессы синтеза белка и их регуляция. Пути передачи генетической информации. Генетический код и его особенности. Структурные и функциональные гены. Процесс транскрипции, РНК-полимераза, транскрипционные факторы, пре-матричная и матричная РНК. Процессинг информационной РНК. Механизм сплайсинга, значение альтернативного сплайсинга. Механизм трансляции, рибосомальный синтез белка. Различия механизмов синтеза белка у прокариот и эукариот. Фолдинг белка, его регуляция. Прионы.

Тема 3.6. Процессы репликации нуклеиновых кислот и вирусов. Ядерная и митохондриальная ДНК. Механизм репликации ДНК. ДНК-топоизомераза, геликаза, ДНК-полимераза, праймеры, фрагменты Оказаки. Синтез РНК и рибосом. Механизм работы ми-РНК, РНК-интерференция. Механизмы репликации различных РНК- и ДНК-содержащих вирусов. Ковалентная модификация ДНК, метилирование ДНК, рекомбинация генетического материала. Мутации. Контроль устойчивости генетического материала. Репарация повреждений ДНК.

Раздел 4. Математическое моделирование в молекулярной биофизике

Методы расчета пространственной структуры биополимеров. Моделирование структуры белка на основе структуры близкого гомолога, электронные базы данных структурных шаблонов. Моделирование

структуры РНК, ДНК на основании знаний о комплементарных взаимодействиях. Методы молекулярной механики, расчет тормозящих потенциалов. Методы молекулярной динамики, анализ временной эволюции системы взаимодействующих атомов, силовые поля. Моделирование *Ab initio folding*. Сравнение различных методов моделирования. Методы молекулярного докинга, оценочные функции. Фармакофоры. Компьютерные программы для математического моделирования биополимеров.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Дневная форма получения образования

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСП	Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Введение. Основы физики полимеров	12						
1.1	Введение	2						
1.2	Основы физики полимеров	10					2	контрольная работа
1.2.1	Типы полимеров. Степень полимеризации и масса полимера	2						
1.2.2	Свободно-сочлененная модель	2						
1.2.3	Нековалентные взаимодействия между элементами полимера, ротамеры	2						
1.2.4	Жесткие полимеры	2						
1.2.5	Объемные взаимодействия	2						
2	Физика белка	14					2	контрольная работа
2.1	Задачи физики белка. Иерархия структуры белка	2						
2.2	Вторичная структура белка	2						
2.3	Третичная структура белка	2						
2.4	Четвертичная структура белка	2						
2.5	Физико-химические свойства белков	2						
2.6	Физика ферментов	4						

3	Биофизика нуклеиновых кислот	12					2	контрольная работа
3.1	Структурные характеристики нуклеиновых кислот	2						
3.2	Надмолекулярная структура ДНК. Нуклеопротеиновые комплексы	2						
3.3	Различные виды РНК, их структура и функции	2						
3.4	Физико-химические свойства ДНК и РНК	2						устный опрос
3.5	Процессы синтеза белка и их регуляция	2						
3.6	Процессы репликации нуклеиновых кислот и вирусов	2						
4	Математическое моделирование в молекулярной биофизике	2					2	Реферат по разделам, 2,3,4
	Всего часов	40					8	экзамен

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Перечень основной литературы

1. Рубин А.Б. Биофизика. М.: Кнорус. 2019.
2. Рубин А.Б. Биофизика. В 2-х книгах. Кн.1. Теоретическая биофизика. М.: Высшая шк. 1999.
3. Волькенштейн М.В. Биофизика. М.: Наука, 1988.
4. Фрайфелдер Д. Физическая биохимия. Применение физико-химических методов в биохимии и молекулярной биологии. М.: Мир, 1980. .
5. Финкельштейн А.В., Птицын О.Б. Физика белка. М.: Университет, 2002.
6. Introduction to molecular biophysics / Jack A. Tuszynski, Michal Kurzynski. CRC Press, 2003.
7. Molecular and cellular biophysics / M. V. Jackson, Cambridge University Press, 2006.
8. Molecular biophysics for the life sciences / Norma Allewell, Linda O. Narhi, Ivan Rayment. Springer Science & Business Media, 2013.

Перечень дополнительной литературы

1. Кантор Ч., Шиммел П. Биофизическая химия: В 3-х т. Т.1. Конформация биологических молекул. М.: Мир, 1984.
2. Кантор Ч., Шиммел П. Биофизическая химия: В 3-х т. Т.3. Поведение биологических молекул. М.: Мир, 1985.
3. Кантор Ч., Шиммел П. Биофизическая химия: В 3-х т. Т.2. Методы исследования структуры и функции биополимеров М.: Мир, 1985.
4. Аскадский А., Кондращенко В. Компьютерное материаловедение полимеров. Т.1 Атомно-молекулярный уровень. М.: Научный мир, 1999.
5. Альбертс Б., Брей Д. Молекулярная биология клетки.– М.: Мир, 2013.
6. Диксон М., Уэбб Э. Ферменты: В 3-х т. М.: Мир, 1982.
7. Степанов М. Молекулярная биология. Структура и функции белков. ВШ, М., 1996.
8. Nelson D.L., Cox M. M. Lehninger Principles of Biochemistry, Freeman and Company, 2013.
9. Leach A.R. Molecular modeling. Principles and applications. 2001.
10. Hinchliffe A. Modelling molecular structures. 2000.

Перечень рекомендуемых средств диагностики и методика формирования итоговой оценки

Для текущего контроля качества усвоения знаний по дисциплине рекомендуется использовать контрольные работы по разделам дисциплины и защиту реферативных работ.

Формой текущей аттестации по дисциплине «Молекулярная биофизика» учебным планом предусмотрен экзамен.

Контрольные мероприятия проводятся в соответствии с учебно-методической картой дисциплины. В случае неявки на контрольное мероприятие по уважительной причине студент вправе по согласованию с преподавателем выполнить его в дополнительное время. Оценка каждой из контрольных работ должна быть не ниже 4 баллов, оценка ниже 4 баллов считается неудовлетворительной. Для студентов, получивших неудовлетворительные оценки за контрольные мероприятия, либо не явившихся по неуважительной причине, по согласованию с преподавателем и с разрешения заведующего кафедрой мероприятие может быть проведено повторно.

Текущий контроль (Т, максимум 10 баллов) включает 3 промежуточные письменные контрольные работы по различным темам раздела (K_1 , K_2 , K_3 , максимум 10 баллов по каждой), реферат (Р), устный опрос (У).

Оценка текущего контроля:

$$T = (K_1 + K_2 + K_3 + P + U) / 4$$

Итоговый контроль. Экзамен проводится в устной форме. экзаменационный билет содержит 3 вопроса из списка вопросов к экзамену. Допуск к экзамену – только после выполнения студентом всех контрольных мероприятий при $T \geq 4$. При расчете итоговой отметки учитывается оценка текущего контроля с коэффициентом 0,3 и экзаменационная оценка с коэффициентом 0,7.

Примерный перечень заданий для управляемой самостоятельной работы студентов

Тема 1.2. «Основы физики полимеров» (2 часа)

Основные понятия и определения в физике полимеров. Методы определения масс полимеров. Модели сворачивания полимеров. Расчет размеров клубка в различных моделях.

(Форма контроля – контрольная работа K_1).

Раздел 2. «Физика белка» (2 часа)

Иерархия структуры белка. Элементы различных уровней структурной организации белка и определяющие их физические взаимодействия. Домены белков. Базы данных белков и их доменов. Структура и функционирование ферментов. Математический анализ ферментативного катализа.

(Форма контроля – контрольная работа K_2).

Раздел 3. «Биофизика нуклеиновых кислот» (2 часа)

Структурные характеристики нуклеиновых кислот. Надмолекулярная структура ДНК. Нуклеопротеиновые комплексы. Ремоделирование

хроматина в ходе клеточного цикла. Физико-химические свойства ДНК и РНК.

(Форма контроля – контрольная работа КЗ).

По разделам 2, 3, 4 «Структура, функции, синтез, репликация белков и нуклеиновых кислот» (2 часа)

Особенности фолдинга белков. Особенности строения и функционирования различных видов белков. Процессы синтеза белка и их регуляция. Инженерия белков. Процессы репликации нуклеиновых кислот и вирусов. Мутации. Репарация ДНК. Математическое моделирование в биофизике.

(Форма контроля – реферат с предоставлением доклада в виде презентации).

Описание инновационных подходов и методов к преподаванию учебной дисциплины

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

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

Методические рекомендации по организации самостоятельной работы обучающихся

При изучении учебной дисциплины рекомендуется использовать следующие формы самостоятельной работы:

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

Темы реферативных работ

1. Механизмы управления процессами фолдинга белков. Роль шаперонов.
2. Прионы. Молекулярные механизмы прионного инфицирования.
3. Механизмы формирования многообразия антител.
4. Виды мутаций.

5. Репарация повреждений ДНК.
6. Микро РНК. Интерферирующие РНК.
7. Строение актиновых филаментов и их роль в организме.
8. Строение микротрубочек и их функционирование.
9. Белки-каналы: особенности строения и функционирование.
10. Коннексины: строение и функции.
11. Аквапорины: строение и функции.
12. Строение протонной АТФ-азы и ее функционирование.
13. Строение и функции антител.
14. Белки-рецепторы: структура и функции.
15. Сократительные белки и их функционирование.
16. Регуляция транскрипции у прокариот. Оперон.
17. Регуляция транскрипции и эукариот.
18. Процессинг РНК.
19. Инженерия белков. Использование докинга для поиска новых лигандов к мишени.
20. Математическое предсказание фолдинга белка. Игра Foldit.
21. Методы молекулярного докинга как основа разработки лекарственных средств для защиты от быстромутирующих вирусов (ВИЧ, грипп, герпес).
22. Моделирование в молекулярной биофизике. Различные теоретические модели.
23. Моделирование в молекулярной биофизике. Различные программные пакеты для молекулярного моделирования и их возможности.
24. Моделирование в молекулярной биофизике. Использование моделирования в области биотехнологий.
25. Механизмы репликации вирусных частиц.
26. Физические свойства биополимеров.

Примерный перечень вопросов к экзамену

1. Моделирование структуры и свойств полимеров: модель свободно-сочлененной цепи. Среднеквадратичное расстояние между концами макромолекулы, сворачивание полимера в клубок. Упругая сила при растяжении клубка.
2. Конфигурация макромолекулы. Учет валентных углов при определении размеров полимерного клубка. Средний косинус угла внутреннего вращения. Формула Ока.
3. Тормозящие потенциалы. Потенциальная энергия при нековалентном взаимодействии элементов молекул, характеристика ротамеров. Поворотн-изомерное приближение при расчете среднего косинуса вращения.
4. Статистика линейных полимеров. Статистический вес и статистическая сумма для сегмента молекулы и для всей цепи, вероятность реализации конформации. Расчет статистической суммы. Вычисление

термодинамических потенциалов через статистическую сумму.

5. Жесткие и гибкие полимеры. Примеры жестких биополимеров. Модель скручивания упругого стержня для описания сворачивания жестких макромолекул. Персистентная длина, эффективная длина Куна. Размер клубка свернутого жесткого полимера.

6. Конформационная лабильность полимера, высокоэластичность. Термодинамическая гибкость. Кинетическая гибкость. Параметры, характеризующие гибкость полимеров.

7. Объемные взаимодействия. Плотность полимерного клубка. Понятие клубка и глобулы. Набухание/сжатие полимеров в растворе. θ - температура. Переходы «глобула-клубок» в полимерных макромолекулах. Кооперативность конформационных превращений.

8. Молекулярные массы полимеров и способы их определения. Степень полимеризации. Распределения по степеням полимеризации и массам в смеси полимеров.

9. Первичная структура белка. Характеристики пептидной связи. Конформации полипептидной цепи. Тормозящие потенциалы. Карты Рамачандрана.

10. Вторичная структура белков и стабилизирующие ее взаимодействия. Виды спиралей и их физические характеристики. Способность различных аминокислот к формированию спиральных элементов при формировании вторичной структуры белка.

11. Вторичная структура белков: виды складчатых элементов вторичной структуры и их физические характеристики. Способность различных аминокислот к формированию складчатых элементов при формировании вторичной структуры белка.

12. Особенности полипролиновых спиралей.

13. Третичная структура белка. Взаимодействия, определяющие третичную структуру. Домены. Свойства и функции доменов.

14. Классы и архитектура доменов белков. Примеры различных типов доменов.

15. Процессы фолдинга белка, их регуляция. Нарушение фолдинга, прионы.

16. Четвертичная структура белка. Протомеры, олигомерные и мультимерные белки. Взаимодействия, обуславливающие формирование четвертичной структуры. Пример белка с четвертичной структурой. Особенности глобулярных, мембранных и фибриллярных белков.

17. Фибриллярные белки: строение фиброина. Примеры использования фибриллярных белков в биотехнологиях.

18. Строение белков коллагена и кератина, взаимодействия, обеспечивающие формирование фибрилл данных белков.

19. Переходы спираль-клубок у белков. Модель Изинга, теория Зимма-Брегга, применение матричного метода.

20. Кооперативность при сворачивании и денатурации полипептида. Степень спиральности и ее вычисление через статистическую сумму.

Графическое отображение переходов спираль-клубок.

21. Динамичность и деформируемость белков, типы движения в белках. Связь характеристик конформационной подвижности белков с их функциональными свойствами. Физические модели динамики белка. Уравнения Ланжевена и Фоккера-Планка.

22. Структурные особенности ферментов. Способы регуляции активности ферментов.

23. Фермент-субстратное взаимодействие, модели Кошланда и Фишера. Факторы, ответственные за действие ферментов.

24. Применение уравнений Аррениуса и Эйринга для описания ферментативных реакций. Термодинамика ферментативного катализа.

25. Физические модели ферментативного катализа: электронно-конформационные взаимодействия.

26. Физические модели ферментативного катализа: модель упругих напряжений при ферментативном катализе (модель «дыбы»).

27. Математическое моделирование кинетики ферментативного катализа при простых ферментативных реакциях.

28. Исследование механизма ингибирования ферментативной реакции на основе анализа кинетических параметров процесса.

29. Аллостерическая регуляция. Модели функционирования олигомерных ферментов.

30. Кооперативность при функционировании гемоглобина. Кривые насыщения O_2 гемоглобина и миоглобина.

31. Общая характеристика строения и пространственной структуры нуклеиновых кислот. Роль различных физических взаимодействий в формировании пространственной структуры нуклеиновых кислот.

32. Характеристики В-, А-, Z-формы ДНК. Факторы, влияющие на переходы между этими формами, функциональная роль В-, А-, Z-формы ДНК.

33. Полиморфизм вторичной структуры ДНК, необычные структуры ДНК.

34. Физические свойства ДНК и РНК и их растворов (механические, гидродинамические, электрические и электрохимические, оптические). Определение молекулярной массы ДНК.

35. Качественные и количественные характеристики денатурации ДНК, плавление ДНК. Факторы, влияющие на стабильность и на денатурацию ДНК. Ренатурация.

36. Упругость и эластичность ДНК. Физические модели скручивания и укладки ДНК. Факторы, влияющие на персистентную длину ДНК.

37. Основные механизмы взаимодействия нуклеиновых кислот с различными молекулами, лигандами. Зависимость взаимодействия белков с ДНК от пространственной конформации ДНК и нуклеотидной последовательности.

38. Сверхспирализация ДНК. Топология ДНК прокариот.

39. Дезоксирибонуклеопротеиды (ДНП) как основа структуры хроматина. Гистоны и негистоновые белки. Состав нуклеосомы. Наднуклеосомная организация хроматина на разных стадиях клеточного цикла. Строение метафазной хромосомы. Гетерохроматин и эухроматин, ремоделирование хроматина.

40. Различные виды РНК, их структура и функции. Особенности пространственной структуры РНК.

41. Структура, образование, механизм работы малых регуляторных РНК.

42. Организация генома прокариот и эукариот. Структурные и функциональные гены. Оперон у прокариот. Транскрипционный комплекс у эукариот.

43. Молекулярные механизмы транскрипции и сплайсинга. Локализация процессов у прокариот и эукариот. Ферменты, рибонуклеопротеины и РНК, принимающие участие в этих процессах.

44. Особенности строения, образования и расположения рибосом внутри клеток прокариот и эукариот. Строение клеточного ядра и ядерной мембраны.

45. Характеристика генетического кода и его особенностей. Примеры отклонения генетического кода от универсальности.

46. Молекулярные механизмы трансляции, стадии (этапы) трансляции.

47. Сравнение общей схемы синтеза белка в клетках у прокариот и эукариот. Механизмы регуляции экспрессии генов у эукариот.

48. Механизм репликации ДНК. Ферменты, участвующие в репликации ДНК.

49. Методы расчета пространственной структуры биополимеров. Сравнение различных методов моделирования.

50. Молекулярное моделирование и инженерия: методы молекулярной механики

51. Молекулярное моделирование и инженерия: методы молекулярной динамики

52. Молекулярное моделирование и инженерия: методы молекулярного докинга

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УВО

Название учебной дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы учреждения высшего образования по учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
1. Физика коллоидных систем	Кафедра биофизики	Оставить содержание учебной дисциплины без изменения	Изменение не требуется (протокол №11 от 26.04.2021)
2. Основы биохимии. Основы физиологии	Кафедра биофизики	Оставить содержание учебной дисциплины без изменения	Изменение не требуется (протокол №11 от 26.04.2021)

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

на ____ / ____ учебный год

№ п/п	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры
_____ (протокол № ____ от _____ 202_ г.)

Заведующий кафедрой

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета
