

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе
и образовательным инновациям

 О.Н. Здрок

«17» июня 2021

Регистрационный № УД-9764/уч.



НАНОБИОСЕНСОРЫ И НАНОБИОЭЛЕКТРОНИКА

Учебная программа учреждения высшего образования
по учебной дисциплине для специальности
1-31 04 07 Физика наноматериалов и нанотехнологий

2021 г.

Учебная программа составлена на основе ОСВО 1-31 04 07-2013 и учебных планов УВО №G31-218/уч. от 20.02.2018 г., №G31и-219/уч. от 20.02.2018 г.

СОСТАВИТЕЛЬ:

Е.В. Шамова – доцент кафедры биофизики Белорусского государственного университета, кандидат биологических наук.

РЕЦЕНЗЕНТ:

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

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

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

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

Заведующий кафедрой биофизики
д.б.н., доцент



Г.Г. Мартинович

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Цели и задачи учебной дисциплины

Цель учебной дисциплины – ознакомление студентов с современными представлениями в области физических свойств наноматериалов, методов получения и исследования их структуры и свойств, физических принципов функционирования информационно-преобразующих систем, технологических методов создания физических и биологических преобразователей, закономерностей функционирования биосенсорных элементов (ферментные электроды, энталпиметрические, микробные и др.).

Задачи учебной дисциплины:

1. Ознакомить студентов с природными и синтетическими наноструктурами и областями их применения.
2. Сформировать представление о физических принципах, лежащих в основе наноразмерных объектов и технологических процессов их получения.
3. Ознакомить студентов с методами исследования биологических наноструктурированных объектов.
4. Раскрыть сущность основных принципов создания информационно-преобразующих устройств.
5. Научить студентов видеть области применения разработанных устройств, понимать их возможности при решении конкретных задач.
6. Ознакомить студентов с основными проблемами биобезопасности, возникающими в результате использования природных и синтетических наноструктур.

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 в следующих курсах: «Термодинамика», «Основы биохимии. Клеточная физиология», «Физика мембранных систем» и «Молекулярная биофизика».

Требования к компетенциям

Освоение учебной дисциплины «Нанобиосенсоры и нанобиоэлектроника» 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 наноматериалов и нанотехнологий, методов исследования физических объектов, методов измерения физических величин, методов автоматизации эксперимента, методов планирования, организации и ведения научно-производственной, научно-педагогической, производственно-технической, опытно-конструкторской работы.

– ПК-2. Осуществлять на основе методов математического моделирования оценку эксплуатационных параметров функциональных наноматериалов и технологических процессов их получения.

– ПК-3. Пользоваться компьютерными методами сбора, хранения и обработки информации, системами автоматизированного программирования, научно-технической и патентной литературой.

– ПК-4. Взаимодействовать со специалистами смежных профилей.

В результате освоения учебной дисциплины студент должен:

знать:

– основные представления о строении и функционировании нанобиосенсоров;

– физические и физико-химические основы создания нанобиосенсоров и нанобиоэлектроники;

уметь:

– рассчитывать физические характеристики нанобиосенсоров и нанобиоэлектроники;

владеть:

– терминологией дисциплины;

– базовыми принципами строения и функционирования нанобиосенсоров и нанобиоэлектроники.

Структура учебной дисциплины

Дисциплина изучается в 8 семестре дневной формы получения высшего образования. Всего на изучение дисциплины «Нанобиосенсоры и нанобиоэлектроника» для очной формы получения высшего образования отведено:

– для очной формы получения высшего образования – 92 часа, в том числе 32 аудиторных часа, из них: лекции – 26 часов, управляемая самостоятельная работа (УСР) – 6 часов.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 2,5 зачетные единицы.

Форма текущей аттестации– экзамен.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Раздел 1. Введение

История развития нанотехнологий. Положение нанобъектов на шкале размеров. Физические и технологические пределы миниатюризации. Перспективы развития нанотехнологий.

Раздел 2. Наноматериалы

Тема 2.1 Изменение физико-химических свойств вещества при масштабировании размеров от макро- к микро- и нано-. Причины отличий физико-химических свойств нанобъектов от макроскопических объектов. Особенности физических взаимодействий для наноразмерных структур.

Тема 2.2 Неорганические и органические наноматериалы. Наноструктурированные 1D, 2D и 3D материалы. Графен, фуллерены, нанотрубки, дендримеры. Квантовые точки. Природные наносистемы. Биомолекулярные наночастицы. ДНК, белки, полисахариды, молекулярные ансамбли. Наноструктуры, образуемые липидами (монослои, мицеллы, липосомы, мембраны). Молекулярные насосы и моторы. Биофотонные наноструктуры.

Раздел 3. Основные принципы формирования наноструктур.

Создание нанобъектов: «снизу-вверх» или «сверху-вниз». Методы физической и химической гомогенизации. Фотолитография как традиционный метод формирования планарных микро- и наноструктур. Проблемы фотолитографии. Рентгенолитография. Электронно-лучевая и ионно-лучевая литография.

Самоорганизация нанобъектов и её использование при создании наноматериалов. Процессы зародышеобразования в газовых и конденсированных средах. Агрегация и дезагрегация наночастиц. Полимеры и блоксополимеры. Микрофазное расслоение в блок-сополимерах. Мицеллообразование. Биомембраны. Рафты. Молекулярная организация вирусных наночастиц.

Раздел 4. Методы исследования органических наноматериалов и наноструктур.

Тема 4.1 Метод исследования ионных каналов биомембран «пэтч-клэмп». Основные конфигурации метода. Режимы записи токов и потенциала. Примеры расчета и анализа электрофизиологических характеристик ионных каналов. Методы комбинационного рассеяния и гигантского комбинационного рассеяния света для изучения структурной организации биомолекул.

Тема 4.2 Сканирующая зондовая микроскопия (СЗМ). Устройство и принцип работы атомно-силового микроскопа, туннельного микроскопа. Инструментальные методы СЗМ: управляемое манипулирование нанобъектами. Компьютерное моделирование наноструктур и наносистем.

Раздел 5. Нанотоксичность и безопасность.

Возможные риски при производстве и использовании наноматериалов. Факторы потенциальной нанотоксичности. Примеры токсического воздействия наноматериалов. Биобезопасность.

Раздел 6. Биоинженерия и современные биотехнологии.

Предмет и основные направления биоинженерии. Общие принципы структурной организации нуклеиновых кислот и белков. Транскрипция. Трансляция. Репликация. Теоретические методы предсказания структуры белка. Молекулярный дизайн и изменение специфичности ферментов. Химический синтез белков. Технология рекомбинантных ДНК. Метод полимеразной цепной реакции. Секвенирование ДНК.

Раздел 7. Молекулярная электроника.

Тема 7.1. Направления молекулярной электроники. История создания первых молекулярных устройств. Элементы молекулярных электронных устройств. Основные процессы, которые могут быть использованы в молекулярных устройствах.

Тема 7.2. Механизмы молекулярной проводимости. Молекулярные проводники и переключатели. Принципы построения молекулярных устройств. Молекулярные устройства обработки и хранения информации.

Раздел 8. Биосенсоры.

Тема 8.1. Принцип работы биосенсорных устройств. Обобщенная структурная схема биосенсора. Тест-объекты биосенсорных устройств (ферменты, антитела, рецепторы, органеллы, клетки и др.). Методы иммобилизации биообъектов. Способы детектирования сигнала. Основные типы трансдьюсеров.

Тема 8.2. Электрохимические датчики. Потенциометрические ионселективные электроды. Амперометрические датчики. Электрод Кларка. Потенциометрические ферментные электроды. Амперометрические ферментные электроды. Избирательность и стабильность действия ферментных электродов.

Тема 8.3. Неэлектродные сенсорные системы. Сенсорные системы на основе микровесов, полевых транзисторов, волоконной оптики, эффектах поверхностно-плазмонного резонанса, гигантского комбинационного рассеяния и др. ДНК-чипы, «lab-on-a-chip».

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА ДИСЦИПЛИНЫ

Дневная форма получения образования

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСП	Литература	Формы контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное			
1	2	3	4	5	6		7	8	9
1	Введение. История и перспективы развития нанотехнологий	2						1,2,3	
2	Наноматериалы	4						1,2,3	
2.1	Физико-химические свойства наноматериалов.	2							
2.2.	Наноматериалы. Неорганические и органические наноматериалы.	2							
3	Основные принципы формирования наноструктур	2						1,2,3	Решение (анализ) кейсов
4	Методы исследования органических наноматериалов и наноструктур	4						1,2,3	
4.1	Метод исследования ионных каналов биомембран «пэтч-клэмп». Методы комбинационного рассеяния и гигантского комбинационного рассеяния света для изучения структурной организации биомолекул	2							
4.2	Методы сканирующей зондовой микроскопии для	2					1		Реферат

	исследования биообъектов								
5	Нанотоксичность и безопасность	2					2	1,2,3,4	Контрольная работа по разделам 2-4
6	Биоинженерия и современные биотехнологии	2						5,6	
7	Молекулярная электроника	4						3,7	
7.1	Основные направления молекулярной электроники. Элементы молекулярных электронных устройств.	2							
7.2	Механизмы молекулярной проводимости. Молекулярные устройства обработки и хранения информации.	2					1		Реферат
8	Биосенсоры	6						3,8,9	
8.1	Основные принципы работы биосенсорных устройств	2							
8.2	Электрохимические датчики	2							
8.3	Неэлектродные сенсорные системы	2					2		Контрольная работа по разделам 6-8
	Всего часов	26					6		экзамен

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Перечень основной литературы

1. Пул Ч., Оуэнс Ф. Нанотехнологии. М.: Техносфера. 2006. 336 с.
2. Анищик В. М. и др. Наноматериалы и нанотехнологии. – 2008.
3. Рамбиди Н., Берёзкин А. Физические и химические основы нанотехнологий. – Litres, 2018.
4. Ковалева Н. Ю., Раевская Е. Г., Рощин А. В. Проблемы безопасности наноматериалов: нанобезопасность, нанотоксикология, наноинформатика //Химическая безопасность. – 2017. – Т. 1. – №. 2. – С. 44-87.
5. Альбертс Б., Брей Д., Льюис Дж., и др. Основы молекулярной биологии клетки. М.: Лаборатория знаний, 2018.
6. Абрамова З. И. Введение в генетическую инженерию. – 2008.
7. Захарова И. Б., Макарова Т. Л. Молекулярная электроника и углеродные наноструктуры: учебное пособие. – 2008.
8. Эггинс Б. Химические и биологические сенсоры. М.: Техносфера. 2005. 335 с.
9. Кудряшов А. П. Биосенсорные устройства: Курс лекций/АП Кудряшов—Мн: БГУ, 2003.—113 с. – 2003.

Перечень дополнительной литературы

1. Евдокимов Ю.М., Захаров М.А., Скуридин С.Г. Нанотехнология на основе нуклеиновых кислот // Вестн. РАН. - 2006. - Т.76, N 2. - С.112-120.
2. Molleman A. Patch clamping: an introductory guide to patch clamp electrophysiology. – John Wiley & Sons, 2003.
3. Шлюкер С. Поверхностно-усиленная рамановская спектроскопия (SERS): аналитические, биофизические и биомедицинские приложения //С. Шлюкера. М.: ТЕХНОСФЕРА. – 2017.
4. Wiesner M. R., Bottero J. Y. Environmental nanotechnology: applications and impacts of nanomaterials. – McGraw-Hill Education, 2017.
5. Seeman N. C. DNA Nanotechnology at 40 //Nano Lett. – 2020. – Т. 20. – №. 3. – С. 1477-1478.
6. Стив Дж. В., Этвуд Дж. Л., Супрамолекулярная химия. - т. 1, 2. – Москва: Академкнига, 2007.
Seeman N. C. DNA Nanotechnology at 40 //Nano Lett. – 2020. – Т. 20. – №. 3. – С. 1477-1478.

Перечень рекомендуемых средств диагностики и методика формирования итоговой оценки

Для текущего контроля качества усвоения знаний по дисциплине рекомендуется использовать контрольные работы по разделам дисциплины, защиту реферативных работ, решение (анализ кейсов).

Формой текущей аттестации по дисциплине «Нанобиосенсоры и нанобиоэлектроника» 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.

Темы рефератов предлагаются максимально приближенными к теме курсовой работы. Реферат оформляется подобно обзору литературных данных в курсовой работе и должен включать около 10-15 страниц (включая титульный лист, оглавление, иллюстрации и список литературы). Защита реферативных работ проводится индивидуально, в устной форме. Оценка рефератов проводится по десятибалльной шкале.

Текущий контроль по дисциплине (Т, максимум 10 баллов) включает 2 промежуточные письменные контрольные работы, 1 реферат (максимум 10 баллов по каждому мероприятию).

Оценка текущего контроля
$$T_2 = \frac{K_1 + K_2 + P}{3}$$

Экзаменационная оценка и оценка текущей успеваемости служат для определения рейтинговой оценки по дисциплине, которая рассчитывается как средневзвешенная оценка текущей успеваемости и экзаменационной оценки. Рекомендуемые весовые коэффициенты для оценки текущей успеваемости – 0,5; для экзаменационной оценки – 0,5.

Примерный перечень заданий для управляемой самостоятельной работы

Раздел 2. Наноматериалы. Причины отличий физико-химических свойств нанообъектов от макроскопических объектов. Особенности физических взаимодействий для наноразмерных структур. Наноструктурированные 1D, 2D и 3D материалы. Графен, фуллерены, нанотрубки, дендримеры. Кван-

товые точки. Природные наносистемы. Биомолекулярные наночастицы. ДНК, белки, полисахариды, молекулярные ансамбли. Наноструктуры, образуемые липидами. Молекулярные насосы и моторы. Биофотонные наноструктуры.

Раздел 3. Основные принципы формирования наноструктур. Методы физической и химической гомогенизации. Фотолитография. Рентгенолитография. Электронно-лучевая и ионно-лучевая литография. Самоорганизация нанообъектов. Процессы зародышеобразования в газовых и конденсированных средах. Полимеры и блоксополимеры. Мицеллообразование. Биомембраны. Рафты.

Раздел 4. Методы исследования органических наноматериалов и наноструктур. Метод «пэтч-клэмп». Методы комбинационного рассеяния и гигантского комбинационного рассеяния. Сканирующая зондовая микроскопия (СЗМ). Устройство и принцип работы атомно-силового микроскопа, туннельного микроскопа.

Форма контроля – контрольная работа. (2 часа).

Тема 4.2. Методы сканирующей зондовой микроскопии для исследования биообъектов (1 час)

Форма контроля – реферативная работа.

Раздел 6. Биоинженерия и современные биотехнологии. Предмет и основные направления биоинженерии. Общие принципы структурной организации нуклеиновых кислот и белков. Транскрипция. Трансляция. Репликация. Теоретические методы предсказания структуры белка. Химический синтез белков. Технология рекомбинантных ДНК. Метод полимеразной цепной реакции. Секвенирование ДНК.

Раздел 7. Молекулярная электроника. Направления молекулярной электроники. Элементы молекулярных электронных устройств. Механизмы молекулярной проводимости. Молекулярные проводники и переключатели. Принципы построения молекулярных устройств. Молекулярные устройства обработки и хранения информации.

Раздел 8. Биосенсоры. Обобщенная структурная схема биосенсора. Тест-объекты биосенсорных устройств. Методы иммобилизации биообъектов. Способы детектирования сигнала. Основные типы трансдюсеров. Электрохимические датчики. Ферментные электроды. Неэлектродные сенсорные системы. Сенсорные системы на основе микровесов, полевых транзисторов, волоконной оптики, эффектах поверхностно-плазмонного резонанса, гигантского комбинационного рассеяния, ДНК-чипы.

Форма контроля – контрольная работа. (2 часа).

Тема 7.2 Механизмы молекулярной проводимости. Молекулярные устройства обработки и хранения информации. (1 час)

Форма контроля – реферативная работа.

Описание инновационных подходов и методов к преподаванию учебной дисциплины

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

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

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

- освоение содержания образования через решение практических задач;
- приобретение навыков эффективного выполнения разных видов профессиональной деятельности;
- ориентацию на генерирование идей, реализацию групповых студенческих проектов, развитие предпринимательской культуры;
- использование 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 на заданные темы.

Примерная тематика реферативных работ

1. Сканирующая зондовая микроскопия (СЗМ).
2. Устройство и принцип работы атомно-силового микроскопа, туннельного микроскопа.
3. Оптическая микроскопия ближнего поля.
4. Примеры использования молекулярных переключателей/запоминающих устройств в современной электронике.
5. Органические светодиоды (OLED): технологии и применение

Примерный перечень вопросов к экзамену

1. Причины отличий физико-химических свойств нанообъектов от макроскопических объектов.

2. Особенности физических взаимодействий для наноразмерных структур.
3. Основные типы идеальных наноразмерных структур. Квантовый размерный эффект.
4. Природные наносистемы. Биомолекулярные наночастицы.
5. Наноразмерные углеродные структуры.
6. Молекулярные наноструктуры. Супромолекулярные ассоциаты.
7. Основные принципы формирования наноструктур: литография.
8. Основные принципы формирования наноструктур: химическая гомогенизация.
9. Основные принципы формирования наноструктур: физическая гомогенизация.
10. Основные принципы формирования наноструктур: самосборка. Термодинамические принципы формирования наночастиц.
11. Основные принципы формирования наноструктур: молекулярно-лучевая эпитаксия.
12. Основные принципы формирования наноструктур: химическое и физическое вакуумное осаждение.
13. Технология герерофазного получения нанопокровов (Лэнгмюра-Блоджетт).
14. Методы исследования наноматериалов и наноструктур.
15. Факторы потенциальной токсичности наноматериалов.
16. Нанотехнологии в биоинженерии. ПЦР анализ. Секвенирование ДНК.
17. Биотехнологии. Получение рекомбинантных белков.
18. Биотехнологии. Теоретическое предсказание структуры белка.
19. Молекулярная организация вирусов и их использование в нанобиотехнологиях.
20. Молекулярная электроника. Молекулярные логические устройства.
21. Молекулярная электроника. Принцип работы молекулярных запоминающих устройств.
22. Электрохимические сенсоры. Потенциометрические ионселективные электроды.
23. Электрохимические сенсоры. Амперометрические датчики. Электрод Кларка.
24. Электрохимические сенсоры. Ферментные электроды.
25. Иммобилизация ферментов: типы носителей и виды иммобилизации.
26. Пьезоэлектрические сенсоры.
27. Оптические сенсоры.
28. Иммунохимические аналитические системы.
29. Обобщенная структурная схема биосенсора: назначение основных структур. Ферменты как наиболее популярный и чувствительный объект биосенсоров.
30. Биоаналитическое преобразование: биологическое преобразование.
31. Антитела как тест-объект биосенсоров.
32. Биоаналитическое преобразование: физическое преобразование.

33. Сенсоры, основанные на явлении комбинационного рассеяния и плазмонного резонанса.
34. Использование живых организмов, тканей и клеток или клеточных компонентов в биосенсорных устройствах.

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)
Нанобиотехнологии	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
