

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Методические указания
по выполнению практических занятий
по дисциплине «Наноинженерия в различных отраслях» для студентов
направления подготовки
28.03.02 Наноинженерия
направленность (профиль) «Нанотехнологии и наноматериалы»

Ставрополь, 2026

Практическое занятие №1

Нанокремнезем в строительстве: расчет оптимальной добавки

Цель

Научиться рассчитывать дозировку нанокремнезема для цементных композитов и прогнозировать прирост прочности.

Планируемые результаты обучения

Знать: механизм пуццолановой реакции, влияние нано-SiO₂ на пористость.

Уметь: рассчитывать состав модифицированного бетона на 1 м³.

Владеть: методом экономической оценки эффективности нанодобавки.

Теоретическая часть (сжато)

Нанокремнезем (10–50 нм) реагирует с Ca(OH)₂:



Оптимальная дозировка 0,5–2% от массы цемента. Эмпирическая формула прироста прочности:

$$\Delta R = k \cdot C \cdot (1 - 0,3 \cdot C), \text{ где } k = 15 \text{ МПа/\%}.$$

Практическое задание (15 чел. → 5 групп по 3)

Каждая группа получает свой вариант: дозировка нано-SiO₂ (0%; 0,5%; 1%; 1,5%; 2%) и В/Ц (0,35–0,45).

Рассчитать:

1. Расход материалов на 1 м³ бетона (состав 1:2:4, плотность 2400 кг/м³).
2. Ожидаемую прочность $R_{28} = R_{28,0} + \Delta R$ ($R_{28,0}$ принять 30 МПа).
3. Экономическую эффективность, если:
4. Цемент – 0,1 /кг, нано-SiO₂ – 5/кг, песок/щебень – 0,02 \$/кг.
5. Построить график $R_{28} = f(\% \text{ нано})$ и выбрать оптимальную дозировку.

Содержание отчета

1. Исходные данные варианта.
2. Расчет состава бетона.

3. Прогноз прочности.
4. Расчет стоимости 1 м³.
5. Вывод: оптимальная дозировка и обоснование.

Контрольные вопросы

1. Почему превышение 2% нано-SiO₂ снижает прочность?
2. Как диспергировать наночастицы в воде перед затворением?
3. Назовите другие нанодобавки в строительстве (нано-TiO₂, нано-CaCO₃).

Практическое занятие №2

Золь-гель синтез нано-TiO₂: материальный и энергетический баланс

Цель

Рассчитать стехиометрию, выход продукта и энергозатраты на получение 10 г нано-TiO₂.

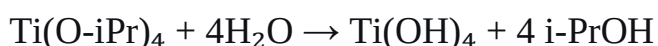
Планируемые результаты

Знать: химизм золь-гель процесса.

Уметь: составлять материальный баланс.

Владеть: расчетом себестоимости лабораторного синтеза.

Теоретическая часть



$$M(\text{Ti}(\text{O}-i\text{Pr})_4) = 284,2 \text{ г/моль}, M(\text{TiO}_2) = 79,9 \text{ г/моль}.$$

Практическое задание (15 чел. → 5 групп)

Варианты выходов по группам: 100%, 90%, 85%, 80%, 75%.

1. Рассчитать массу прекурсора для получения 10 г TiO₂.
2. Рассчитать массу и объем образующегося изопропанола ($\rho = 0,785$ г/мл).
3. Оценить энергозатраты на прокаливание (нагрев от 20 до 500°C, $C_p(\text{TiO}_2)=0,7$ Дж/(г·K), КПД печи 60%, тариф 0,15 \$/кВт·ч).

4. Сравнить стоимость сырья с коммерческим нанопорошком (100) с коммерческим нанопорошком(100/кг).

Содержание отчета

1. Уравнения реакций.
2. Стехиометрический расчет.
3. Энергетический расчет.
4. Вывод о целесообразности синтеза.

Контрольные вопросы

1. Почему нужен контроль pH при гидролизе?
2. При какой температуре анатаз переходит в рутил?
3. Что такое «синерезис» геля?

Практическое занятие №3

Наночастицы селена в молоке: дозирование и безопасность

Цель

Рассчитать безопасную и эффективную дозу наноселена для обогащения молочных продуктов.

Планируемые результаты

Знать: суточную потребность в Se, токсичность разных форм.

Уметь: пересчитывать концентрацию наночастиц на элементный селен.

Владеть: расчетом терапевтического индекса.

Теоретическая часть

Суточная норма Se – 55 мкг. Токсичная доза (NOAEL) – 400 мкг/сут. Нано-Se имеет LD50 $\approx$ 150 мг/кг, селенит натрия – 15 мг/кг.

Практическое задание (15 чел. – индивидуально)

Каждый студент получает: жирность молока (0,5–6%), фоновый Se (1–5 мкг/л).

1. Рассчитать, сколько мл 0,05% раствора SeNPs (0,5 мг Se/мл) добавить в 1 л молока для достижения 100 мкг Se/л.

2. Какую долю суточной нормы покрывает стакан 200 мл такого молока?
3. Сколько литров обогащенного молока можно выпить без риска (масса тела 70 кг)?
4. Сравнить с селенитом натрия: массу селенита (Na_2SeO_3 , $M=173$ г/моль) для той же концентрации Se.

Содержание отчета

1. Исходные данные.
2. Расчет объема раствора SeNPs.
3. Оценка безопасности.
4. Сравнение с ионной формой.

Контрольные вопросы

1. Почему нано-Se менее токсичен, чем селенит?
2. Какие белки молока стабилизируют SeNPs?
3. Как проверить, что частицы не агрегировали?

Практическое занятие №4

Наноэмульсии витамина D3: расчет размера капель и стабильности

Цель

Рассчитать параметры ультразвуковой гомогенизации для получения стабильной наноэмульсии витамина D3.

Планируемые результаты

Знать: факторы, влияющие на размер капель в наноэмульсиях.

Уметь: рассчитывать критическую концентрацию эмульгатора.

Владеть: методом прогнозирования устойчивости по дзета-потенциалу.

Теоретическая часть

Размер капель $d \sim (\sigma/\rho \cdot f^2)^{(1/3)}$ при УЗ-гомогенизации (эмпирическая зависимость).

Для стабильности $|\zeta| > 30$ мВ. Оптимальная доля эмульгатора (Tween 80) – 2–5% от масляной фазы.

Практическое задание (15 чел. → 5 групп)

Варианты: мощность УЗ (100–500 Вт), время обработки (1–10 мин), доля масла (1–10%).

1. Рассчитать ожидаемый размер капель по формуле: $d = k \cdot P^{-0.5} \cdot t^{-0.3}$ ($k=500 \text{ нм} \cdot \text{Вт}^{0.5} \cdot \text{мин}^{0.3}$).
2. Рассчитать количество Tween 80 для стабилизации 100 мл эмульсии (5% масла, ГЛБ=15).
3. Определить дзета-потенциал по заданной электрофоретической подвижности (данные даны).
4. Сделать вывод о стабильности (кремирование, коалесценция).

Содержание отчета

1. Параметры гомогенизации.
2. Расчет размера капель.
3. Расчет эмульгатора.
4. Прогноз стабильности.

Контрольные вопросы

1. В чем отличие наноэмульсии от микроэмульсии?
2. Что такое Оствальдово созревание?
3. Почему витамин D3 лучше усваивается из наноэмульсии?

Практическое занятие №5

Наночастицы серебра в моющих средствах: ионометрия и МПК

Цель

Рассчитать минимальную подавляющую концентрацию (МПК) AgNPs в моющем средстве и оценить скорость выхода ионов.

Планируемые результаты

Знать: механизм антимикробного действия AgNPs.

Уметь: рассчитывать МПК по экспериментальным данным.

Владеть: методом оценки кинетики выхода ионов.

Теоретическая часть

МПК для AgNPs в отношении *E. coli* – 5–20 мкг/мл.

Скорость окисления $\text{Ag} \rightarrow \text{Ag}^+$ подчиняется диффузионному закону: $J = D \cdot (C_s - C) / \delta$.

Практическое задание (15 чел. – индивидуально, 15 вариантов)

Даны: концентрация Ag в моющем средстве (5–50 мкг/мл), время контакта (1–60 мин), начальное число КОЕ (10^6).

1. Рассчитать логарифмическое снижение КОЕ, используя формулу: $\lg(N_0/N) = k \cdot t \cdot C$, где $k = 0,05 \text{ мл}/(\text{мкг} \cdot \text{мин})$.
2. Определить время, необходимое для снижения на 5 log.
3. Рассчитать поток ионов Ag^+ , если $D(\text{Ag}^+) = 1,6 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2/\text{с}$, $\delta = 100 \text{ мкм}$.
4. Сравнить МПК с фактической концентрацией.

Содержание отчета

1. Исходные данные.
2. Кинетика инактивации.
3. Расчет диффузионного потока.
4. Вывод об эффективности.

Контрольные вопросы

1. Почему наночастицы меди также используют?
2. Как ПАВ влияет на выход ионов?
3. Что такое «суицидная» активность AgNPs?

Практическое занятие №6

Бактерицидные пленки (Ag/полимер): расчет толщины и диффузии

Цель

Рассчитать необходимую толщину полимерной пленки с AgNPs для пролонгированного антимикробного действия (7 дней).

Планируемые результаты

Знать: закон Фика для диффузии через полимер.

Уметь: рассчитывать профиль концентрации.

Владеть: методом оценки времени высвобождения.

Теоретическая часть

Закон Фика: $\partial C / \partial t = D \cdot \partial^2 C / \partial x^2$.

Для пленки толщиной h время диффузии $\tau \approx h^2/D$.

Практическое задание (5 групп)

$D(\text{Ag}^+ \text{ в ПВС}) = 10^{-12} \text{ м}^2/\text{с}$. Требуемый поток $J = 0,1 \text{ мкг}/(\text{см}^2 \cdot \text{сут})$.

Начальная нагрузка $\text{Ag} - 1\% \text{ масс}$.

1. Рассчитать толщину пленки, при которой поток не упадет ниже порога через 7 суток.
2. Оценить, какой % серебра выделится за 7 суток.
3. Построить график $C(x,t)$ для $t=1,3,7 \text{ сут}$.

Содержание отчета

1. Модель диффузии.
2. Расчет толщины.
3. Прогноз кинетики высвобождения.

Контрольные вопросы

1. Как пластификатор (глицерин) меняет D ?
2. Какие полимеры лучше удерживают AgNPs ?
3. Что такое «burst release» и как его избежать?

Практическое занятие №7

Гели с нано- TiO_2 : фактор защиты от солнца (SPF)

Цель

Рассчитать SPF геля с нано- TiO_2 в зависимости от концентрации и размера частиц.

Планируемые результаты

Знать: механизм УФ-поглощения нано- TiO_2 .

Уметь: рассчитывать SPF по спектрофотометрическим данным.

Владеть: методом прогнозирования эффективности солнцезащитных средств.

Теоретическая часть

$SPF = E_R / E_S = f(C, d, \lambda)$. Эмпирическая формула: $SPF = 1 + k \cdot C \cdot (10/d)$,
где d – размер (нм), $k = 0,5$.

Практическое задание (15 чел. – индивидуально)

Варианты: $C(TiO_2) = 1\text{--}10\%$, $d = 10\text{--}100$ нм.

1. Рассчитать SPF.
2. Определить, при каком размере частиц SPF максимален (при одинаковой массовой доле).
3. Рассчитать, сколько граммов геля нужно нанести (площадь кожи $1,7 \text{ м}^2$, норма 2 мг/см^2).
4. Оценить, будет ли гель прозрачным (условие: $d < \lambda/10$, $\lambda=550$ нм).

Содержание отчета

1. Расчет SPF.
2. Оптимизация размера.
3. Расход геля.
4. Вывод о прозрачности.

Контрольные вопросы

1. Почему микронный TiO_2 дает белый цвет, а нано – прозрачен?
2. Что такое «критерий прозрачности»?
3. Как легирование (Mn, Fe) влияет на SPF?

Практическое занятие №8

ГЦФ (гексацианоферраты) как сенсоры: расчет чувствительности

Цель

Рассчитать калибровочную характеристику сенсора на основе $CuHCF$ для определения H_2O_2 .

Планируемые результаты

Знать: электрохимический механизм катализа ГЦФ.

Уметь: строить калибровочный график.

Владеть: методом расчета предела обнаружения.

Теоретическая часть

Ток сенсора $I = k \cdot C(\text{H}_2\text{O}_2) + I_{\text{фон}}$. Чувствительность $k = n \cdot F \cdot A \cdot D / \delta$.

Практическое задание (5 групп)

Даны: площадь электрода $A=0,2 \text{ см}^2$, $D(\text{H}_2\text{O}_2)=1,4 \cdot 10^{-5} \text{ см}^2/\text{с}$, $\delta=50 \text{ мкм}$, $n=2$.

1. Рассчитать теоретический предел обнаружения ($3\sigma/I_{\text{фон}}$, $\sigma=0,1 \text{ мкА}$, $I_{\text{фон}}=0,5 \text{ мкА}$).
2. Построить калибровочный график для $C=0-100 \text{ мкМ}$.
3. Определить, какой концентрации H_2O_2 соответствует ток 5 мкА .

Содержание отчета

1. Расчет параметров.
2. Калибровочный график.
3. Предел обнаружения.

Контрольные вопросы

1. Какой металл (Cu, Co, Ni) в ГЦФ дает лучший отклик?
2. Для чего нужен фоновый электролит?
3. Можно ли детектировать глюкозу с помощью ГЦФ (с иммобилизацией глюкозооксидазы)?

Практическое занятие №9

Газовый сенсор на нано- SnO_2 : отклик на этанол

Цель

Рассчитать чувствительность сенсора на основе нано- SnO_2 к парам этанола в зависимости от температуры.

Планируемые результаты

Знать: механизм изменения сопротивления при адсорбции.

Уметь: рассчитывать отклик $S = R_{\text{возд}}/R_{\text{газ}}$.

Владеть: методом определения оптимальной рабочей температуры.

Теоретическая часть

Чувствительность достигает максимума при T , где скорость адсорбции и десорбции сбалансированы. Модель Ленгмюра.

Практическое задание (15 чел. – индивидуально)

Варианты: $T = 150\text{--}450^\circ\text{C}$ с шагом 20°C .

1. Рассчитать S для каждого T , если $R_{\text{возд}}(T)$ и $R_{\text{газ}}(T)$ заданы таблично.
2. Построить график $S(T)$.
3. Определить T_{opt} .
4. Рассчитать энергию активации адсорбции (по Аррениусу).

Содержание отчета

1. Исходные данные.
2. Расчет $S(T)$.
3. График.
4. Вывод об оптимальной температуре.

Контрольные вопросы

1. Почему нано- SnO_2 чувствительнее микро- SnO_2 ?
2. Как легирование (Pd, Pt) меняет селективность?
3. Что такое «дебаевская длина экранирования»?

Практическое занятие №10

Гидрообессеривание с нано- MoS_2 : расчет активности

Цель

Рассчитать скорость гидрообессеривания (HDS) тиофена на нанокатализаторе MoS_2 и сравнить с массивным.

Планируемые результаты

Знать: механизм HDS на краевых центрах MoS_2 .

Уметь: вычислять скорость реакции и константу.

Владеть: методом оценки эффективности нанокатализатора.

Теоретическая часть

Реакция: $C_4H_4S + 4H_2 \rightarrow C_4H_{10} + H_2S$.

Удельная активность $A = (F \cdot X) / m_{\text{кат}}$, где F – поток, X – конверсия.

Практическое задание (5 групп)

Даны: масса катализатора (50–200 мг), конверсия X (0,2–0,9), поток тиофена (1–5 мкмоль/мин).

1. Рассчитать удельную активность (мкмоль/(г·с)).
2. Нормировать на количество активных центров (плотность краевых центров для nano-MoS₂ 10^{15} см^{-2} , для массивного 10^{11} см^{-2}).
3. Во сколько раз наноформа активнее?

Содержание отчета

1. Расчет активности.
2. Нормировка на число центров.
3. Фактор усиления.

Контрольные вопросы

1. Почему именно краевые центры MoS₂ активны?
2. Как кобальт промотирует катализатор?
3. Что такое «прямое» и «непрямое» гидрообессеривание?

Практическое занятие №11

Прозрачные проводящие пленки (ZnO:Al): расчет удельного сопротивления

Цель

Рассчитать удельное сопротивление и прозрачность пленки AZO (ZnO, легированного Al) в зависимости от толщины.

Планируемые результаты

Знать: механизм легирования и транспорт носителей.

Уметь: вычислять концентрацию носителей и подвижность.

Владеть: методом оптимизации толщины для баланса прозрачность/проводимость.

Теоретическая часть

Удельное сопротивление $\rho = 1/(n \cdot e \cdot \mu)$. Прозрачность $T = \exp(-\alpha \cdot d)$, $\alpha = \alpha_0 + \alpha_{\text{своб.носит.}}$

Практическое задание (15 чел. – индивидуально)

Варианты: $d = 50\text{--}500$ нм, $n = 10^{20}\text{--}10^{21}$ см⁻³, $\mu = 5\text{--}20$ см²/(В·с).

1. Рассчитать ρ .
2. Рассчитать T на длине волны 550 нм ($\alpha_0 = 10^4$ см⁻¹, $\alpha_{\text{своб}} = 10^{-18} \cdot \lambda^2 \cdot n / \mu$).
3. Построить графики $\rho(d)$ и $T(d)$.
4. Выбрать оптимальную толщину.

Содержание отчета

1. Расчет ρ .
2. Расчет T .
3. Графики.
4. Оптимальная толщина.

Контрольные вопросы

1. Почему Al увеличивает n , но снижает μ ?
2. Какой альтернативный прозрачный проводник (ITO) хуже/лучше?
3. Что такое «плазменная частота» и как она влияет на T в ИК?

Практическое занятие №12

Пластыри с нано-ZnO: расчет влагопоглощения и антибактериальной активности

Цель

Рассчитать влагопоглощение хитозанового пластыря с нано-ZnO и прогнозировать зону подавления бактерий.

Планируемые результаты

Знать: факторы, влияющие на сорбцию экссудата.

Уметь: рассчитывать степень набухания и МПК.

Владеть: методом оценки эффективности пластыря.

Теоретическая часть

Влагопоглощение $W = (m_{\text{wet}} - m_{\text{dry}})/m_{\text{dry}} \times 100\%$.

Зона подавления $D = A \cdot \ln(C/C_{\text{МПК}}) + B$.

Практическое задание (5 групп)

Даны: концентрация ZnO в пленке (0,1–2%), толщина (0,2–0,5 мм), МПК для S.aureus = 50 мкг/мл.

1. Рассчитать W , если набухание подчиняется закону Фика с $D_w = 10^{-10} \text{ м}^2/\text{с}$, $t = 24 \text{ ч}$.
2. Рассчитать зону подавления (мм) для диска 8 мм.
3. Оценить, сколько ионов Zn^{2+} выделится за 24 ч (коэффициент диффузии $10^{-12} \text{ м}^2/\text{с}$).

Содержание отчета

1. Расчет влагопоглощения.
2. Зона подавления.
3. Кинетика высвобождения Zn^{2+} .

Контрольные вопросы

1. Почему хитозан сам обладает ранозаживляющим действием?
2. Как нано-ZnO влияет на фибробласты?
3. Что такое «биоадгезия» и как ее измерить?

Практическое занятие №13

Наночастицы в нефтехимии: расчет конверсии на нанокатализаторе

Цель

Рассчитать конверсию модельного углеводорода на нанокатализаторе Pt/Al₂O₃ в зависимости от размера частиц Pt.

Планируемые результаты

Знать: структуру активных центров металлических нанокатализаторов.

Уметь: вычислять удельную активность и конверсию.

Владеть: методом оценки оптимального размера.

Теоретическая часть

Удельная активность $A = k \cdot (S_{\text{уд}}) \cdot \eta$, где η – фактор использования (для Pt 1–3 нм $\eta \approx 1$, для >5 нм $\eta < 1$).

Практическое задание (5 групп)

Размер Pt: 1, 2, 3, 5, 10 нм. Масса катализатора 1 г, расход сырья 1 г/мин.

1. Рассчитать удельную поверхность Pt (сферическая форма).
2. Рассчитать конверсию $X = 1 - \exp(-A \cdot m_{\text{кат}}/F)$.
3. Построить график $X(d)$.
4. Определить оптимальный d .

Содержание отчета

1. Расчет $S_{\text{уд}}(d)$.
2. Расчет $X(d)$.
3. Оптимальный размер.

Контрольные вопросы

1. Почему для Pt оптимальный размер 1–3 нм?
2. Как оксидный носитель (Al_2O_3 , SiO_2) влияет на активность?
3. Что такое «сильное металл-носительное взаимодействие» (SMSI)?

Практическое занятие №14

Наночастицы в электронике: расчет тока через квантовую точку

Цель

Рассчитать туннельный ток через одиночную квантовую точку (наночастицу металла) в режиме кулоновской блокады.

Планируемые результаты

Знать: эффект кулоновской блокады.

Уметь: вычислять энергию зарядки квантовой точки.

Владеть: методом расчета тока в режиме одноэлектронного туннелирования.

Теоретическая часть

Энергия кулоновской блокады $E_c = e^2/(2C)$. Туннельный ток $I = (e/R) \cdot \Gamma \cdot f(V)$.

Практическое задание (15 чел. – индивидуально)

Варианты: $d = 1\text{--}10$ нм, $\epsilon_r = 2\text{--}10$ (диэлектрическая проницаемость окружения).

1. Рассчитать емкость $C = 2\pi \cdot \epsilon \cdot \epsilon_0 \cdot d$.
2. Рассчитать E_c в кэльвинах (E_c/k_B).
3. При какой температуре (комнатной или жидкого азота) будет наблюдаться кулоновская блокада?
4. Рассчитать пороговое напряжение $V_{th} = e/(2C)$.

Содержание отчета

1. Расчет E_c .
2. Оценка температуры блокады.
3. Пороговое напряжение.

Контрольные вопросы

1. Почему для квантовой точки металла важен размер?
2. Что такое «туннельный зазор»?
3. Применение одноэлектронных транзисторов.

Практическое занятие №15

Материалы для регенерации тканей: расчет высвобождения фактора роста из наночастиц

Цель

Рассчитать кинетику высвобождения белка (фактора роста) из наночастиц (PLGA или хитозан) контролируемого размера.

Планируемые результаты

Знать: модели диффузионного и эрозионного высвобождения.
Уметь: рассчитывать время высвобождения.
Владеть: методом прогнозирования терапевтического окна.

Теоретическая часть

Для наночастиц монолитного типа: $M_t/M_\infty = k \cdot \sqrt{t}$ (диффузия). Время половинного высвобождения $t_{1/2} \propto d^2$.

Практическое задание (5 групп)

$d = 50, 100, 200, 500, 1000$ нм. $D = 10^{-15}$ м²/с (в полимере), $k = 6 \cdot \sqrt{D/\pi^2/d}$.

1. Рассчитать $t_{1/2}$ для каждого размера.
2. Для требуемого терапевтического окна 10 суток – какой размер наночастиц выбрать?
3. Рассчитать начальный burst (M_0/M_∞), считая, что 10% белка находится на поверхности.

Содержание отчета

1. Расчет $t_{1/2}(d)$.
2. Выбор размера.
3. Оценка burst release.

Контрольные вопросы

1. Как полимерная матрица (PLGA, хитозан) влияет на профиль высвобождения?
2. Что такое «терапевтическое окно»?
3. Как предотвратить денатурацию белка при инкапсуляции?

Практическое занятие №16

Наночастицы в топливных элементах: расчет активности Pt-нанокатализатора для ORR

Цель

Рассчитать массовую и удельную активность Pt-нанокатализатора в реакции восстановления кислорода (ORR) в топливном элементе.

Планируемые результаты

Знать: механизм ORR на Pt.

Уметь: рассчитывать активность по площади поверхности.

Владеть: методом оценки влияния размера на каталитическую активность.

Теоретическая часть

Массовая активность $A_m = i_k \cdot S_{\text{уд}}$, где i_k – удельная активность (мА/см²). $S_{\text{уд}} = 6 \cdot 10^4 / (\rho \cdot d)$ (м²/г).

Практическое задание (15 чел. – индивидуально)

$d = 2\text{--}10$ нм. $i_k = 0,5$ мА/см² (не зависит от размера в первом приближении).

1. Рассчитать $S_{\text{уд}}(d)$ ($\rho_{\text{Pt}} = 21,45$ г/см³).
2. Рассчитать A_m (А/г Pt).
3. Построить график $A_m(d)$.
4. Определить, при каком d массовая активность максимальна.

Содержание отчета

1. Расчет $S_{\text{уд}}$.
2. Расчет A_m .
3. График и оптимум.

Контрольные вопросы

1. Почему активность падает при $d < 2$ нм?
2. Как легирование (PtNi, PtCo) улучшает ORR?
3. Что такое «электрохимически активная поверхность» (ECSA)?

Практическое занятие №17

Наноэмульсии в пищевой промышленности: расчет срока годности по коалесценции

Цель

Рассчитать время коалесценции наноэмульсии масла в воде и прогнозировать срок годности.

Планируемые результаты

Знать: кинетику коалесценции и механизмы стабилизации.

Уметь: рассчитывать барьер коагуляции.

Владеть: методом прогнозирования стабильности.

Теоретическая часть

Время половинной коалесценции $t_{1/2} = 1/(k \cdot n_0)$. k – константа скорости, зависит от дзета-потенциала.

Практическое задание (5 групп)

Дано: $\zeta = 10\text{--}60$ мВ (по модулю), начальная концентрация капель $n_0 = 10^{18}$ м⁻³.

1. Рассчитать k по формуле: $k = k_0 \cdot \exp(-E_{\text{barrier}}/(kT))$, $E_{\text{barrier}} \propto \zeta^2$.
2. Рассчитать $t_{1/2}$.
3. Построить график $t_{1/2}(\zeta)$.
4. Определить минимальный ζ для срока годности 12 месяцев.

Содержание отчета

1. Расчет k .
2. Расчет $t_{1/2}$.
3. Рекомендуемый ζ .

Контрольные вопросы

1. Что такое «стерический фактор» стабилизации?
2. Как температура влияет на коалесценцию?
3. Почему наноэмульсии устойчивее микроэмульсий?

Практическое занятие №18

Наночастицы диоксида церия (нанозерия) как антиоксидант: расчет SOD-миметической активности

Цель

Рассчитать константу скорости дисмутации супероксида нано-CeO₂ и сравнить с нативной SOD.

Планируемые результаты

Знать: механизм SOD-миметического действия CeO₂.

Уметь: рассчитывать константу скорости.

Владеть: методом оценки антиоксидантной активности.

Теоретическая часть

Дисмутация O_2^- : $2O_2^- + 2H^+ \rightarrow H_2O_2 + O_2$. Константа для нано- CeO_2 $k_{Ce} = 10^5-10^6 \text{ M}^{-1}\text{s}^{-1}$, для нативной SOD $k_{SOD} = 2 \cdot 10^9 \text{ M}^{-1}\text{s}^{-1}$.

Практическое задание (15 чел. – индивидуально)

Варианты: концентрация $CeO_2 = 0,1-10 \text{ мкг/мл}$. Начальная концентрация $O_2^- = 1 \text{ мкМ}$.

1. Рассчитать начальную скорость дисмутации $v = k \cdot [CeO_2] \cdot [O_2^-]$ ($k_{Ce} = 5 \cdot 10^5$).
2. Рассчитать время полупревращения O_2^- в присутствии CeO_2 и без него.
3. Какая концентрация CeO_2 нужна, чтобы скорость достигла 10% от нативной SOD ($k_{SOD} = 2 \cdot 10^9$, активность SOD 1 нМ)?

Содержание отчета

1. Расчет v .
2. Время полупревращения.
3. Концентрация для 10% активности.

Контрольные вопросы

1. Какие степени окисления Ce (III/IV) отвечают за активность?
2. Чем нанозия отличается от других антиоксидантов (витамин C)?
3. Может ли CeO_2 проявлять прооксидантные свойства?

Практическое занятие №19

Комплексный проект «Разработка наноматериала для заданной отрасли»

Цель

Собрать знания по всем темам для разработки технического задания на наноматериал под конкретный запрос.

Планируемые результаты

Знать: свойства наноматериалов для разных отраслей.

Уметь: выбирать метод синтеза, стабилизации, анализа.

Владеть: навыками проектирования наноматериала и оценки его экономической эффективности.

Практическое задание (15 чел. → 5 групп по 3)

Каждая группа получает случайный запрос:

- Отраслевой запрос 1: Бетон для арктического строительства (нужна морозостойкость, нано-SiO₂/CaCO₃).
- Запрос 2: Солнцезащитный крем с SPF 50+ и прозрачностью (нано-TiO₂/ZnO).
- Запрос 3: Пластырь для диабетических стоп (антибактериальный + стимуляция ангиогенеза, Ag/ZnO).
- Запрос 4: Газовый сенсор на H₂ для водородной энергетики (нано-SnO₂/Pd).
- Запрос 5: Наночастицы для очистки воды от свинца (магнитный сорбент Fe₃O₄ с функциональными группами).

Задание для группы:

1. Выбрать тип наночастиц и метод синтеза.
2. Рассчитать ориентировочный размер, концентрацию, стабилизатор.
3. Оценить стоимость синтеза 1 кг материала.
4. Предложить метод контроля качества (спектрофото/ДРС/СЭМ).
5. Написать техническое задание (ТЗ) на разработку.

Защита – презентация 5–7 минут + ответы на вопросы.

Содержание отчета (по группам)

1. Анализ требований отрасли.
2. Обоснование выбора наноматериала.
3. Технологическая схема синтеза.
4. Расчеты (основные параметры, стоимость).
5. Методы анализа.
6. ТЗ на разработку (1 стр.).

Контрольные вопросы (при защите)

1. Почему выбран именно этот метод синтеза?

2. Каковы риски (токсичность, агрегация, масштабирование)?
3. Как вы будете доказывать эффективность?
4. Какова ожидаемая себестоимость и рыночная цена?

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Методические указания
по выполнению лабораторных работ
по дисциплине «Наноинженерия в различных отраслях» для студентов
направления подготовки 28.03.02 Наноинженерия
направленность (профиль) «Нанотехнологии и наноматериалы»

Ставрополь, 2026

Предисловие

Изучение дисциплины формирует фундаментальное понимание взаимосвязи между химическим строением, молекулярной организацией и физико-химическими свойствами полимеров и наноразмерных систем. Эти знания являются критически важными для направленного синтеза материалов с заданными характеристиками – от биосовместимых покрытий и систем доставки лекарств до стабилизации наночастиц полисахаридами, что непосредственно применимо в разработке функциональных напитков и биоактивных добавок. Понимание механизмов самоорганизации, структурообразования и стабильности наноструктур позволяет прогнозировать поведение материалов в реальных условиях эксплуатации, что открывает пути к созданию инновационных продуктов с улучшенными потребительскими свойствами.

Цель освоения дисциплины: формирование набора универсальных компетенций будущего бакалавра и специалиста, формирование у бакалавров и специалистов представления о методах получения, применения различных наноматериалов и наноструктур в различных отраслях.

Задачи освоения дисциплины

- изучение основного содержания всех разделов программы, включающих направления синтеза и применения наноматериалов и наноструктур в различных областях науки и техники;
- овладение методами получения и исследования наноматериалов и наноструктур.

ПЛАНЫ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

№ Темы	Наименование тем дисциплины, их краткое содержание	Объем часов	Интерактивная форма проведения
6, 7 семестр			
1	Лабораторная работа № 1 ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РАБОТЕ В ХИМИЧЕСКОЙ ЛАБОРАТОРИИ	2	
2	Лабораторная работа № 2 Наночастицы в строительстве	2	
3	Лабораторная работа № 3 «Синтез керамики»	4	
4	Лабораторная работа № 4 «Синтез полимера методом поликонденсации и изучение его свойств»	4	
5	Лабораторная работа № 5 Наночастицы в пищевой промышленности	4	
Итого в 6 семестре		16	
6	Лабораторная работа № 7 Наночастицы в моющих средствах	4	
7	Лабораторная работа № 8 Пленки с бактерицидным действием	4	
8	Лабораторная работа № 9 Мази и гели с наночастицами	4	
9	Лабораторная работа № 10 Сенсорные материалы	4	
10	Лабораторная работа № 12 Наноинкапсуляция функциональных добавок	4	
11	Лабораторная работа № 13 Наносорбенты для очистки воды	4	
12	Лабораторная работа № 14 Наночастицы диоксида церия как антиоксидант	4	
13	Лабораторная работа № 15 Наночастицы в электронике	4	
14	Лабораторная работа № 16 Материалы для регенерации тканей	4	
Итого в 7 семестре		36	

	Итого	52	
--	--------------	-----------	--

Лабораторная работа № 1

ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РАБОТЕ В ХИМИЧЕСКОЙ ЛАБОРАТОРИИ

Общие правила работы в химической лаборатории

К работе в лаборатории допускаются только лица, прошедшие инструктаж и знающие правила техники безопасности.

Химическая лаборатория должна быть обеспечена вентиляционным устройством (вытяжные шкафы).

В лаборатории обязательно должны находиться: огнетушитель, асбестовое одеяло, ящик с сухим песком и совком. Каждый работающий в лаборатории должен знать местонахождение средств пожаротушения и номер телефона, по которому следует сообщить о пожаре в случае его возникновения.

В каждой лаборатории должен иметься специальный шкаф-аптечка.

По окончании работы в лаборатории необходимо выключить подачу воды, сжатого воздуха, а также применяющиеся электроприборы.

Правила работы со стеклянной химической посудой

1. Во избежание травмирования рук при резании стеклянных трубок, сборке и разборке стеклянных приборов следует соблюдать меры предосторожности;

а) при резании стеклянных трубок следует предварительно на-резать их напильником и переломить в месте надреза, защитив руки полотенцем;

б) вставляя стеклянную трубку в резиновую пробку или надевая резиновую трубку на стеклянную посуду, необходимо защитить руки полотенцем во избежание ранения от поломки стекла, концы трубки рекомендуется смочить водой, глицерином.

2. Перенося сосуд с горячей жидкостью, следует пользоваться полотенцем и держать сосуд обеими руками.

3. Работа на установке из стекла в условиях, когда имеется вероятность аварии и разрыва сосуда (давление, вакуум, перегрев и т. д.), должна проводиться в вытяжном шкафу при закрытых дверцах. При вакуумном фильтровании горячих жидкостей колбу следует обернуть полотенцем.

Правила работы с кислотами и щелочами

1. Кислоты и щелочи, попадая на кожу, вызывают ожоги. Особую опасность представляет поражение глаз, поэтому при работе с кислотами и щелочами необходимо пользоваться защитными очками и резиновыми перчатками.

2. Для приготовления растворов кислоты ее следует приливать в воду при непрерывном перемешивании. Запрещается приливать воду в кислоту.

3. Растворять щелочи следует медленно, прибавляя к воде небольшие

кусочки при непрерывном перемешивании. Куски щелочи брать шпателем или ложкой.

4. Отработанные кислоты и щелочи следует собирать отдельно в специальные емкости. В раковину не сливать!

5. Пролитые кислоты и щелочи необходимо засыпать песком, нейтрализовать и лишь после этого проводить уборку.

6. Растворы кислот и щелочей воспрещается набирать в пипетки ртом – для этого служит резиновая груша.

7. Хромовая смесь (хромпик) вызывает сильные ожоги, поэтому при мытье посуды необходимо остерегаться попадания смеси на кожу, одежду и обувь.

Правила работы с огне- и взрывоопасными веществами

1. Все работы с легковоспламеняющимися и горючими веществами должны проводиться в вытяжном шкафу при работающей вентиляции.

2. Перегонять и нагревать огнеопасные вещества (ацетон, стирол, эфиры, спирты и т. п.) следует в круглодонных колбах на банях, заполненных водой или маслом. Запрещается нагревание сосудов с находящимися в них огнеопасными жидкостями непосредственно на открытом огне.

3. Запрещается выливать горючие жидкости в канализацию. Отработанные горючие жидкости следует собирать в специальные за-крытые емкости, находящиеся в вытяжном шкафу.

4. Если случайно пролита огнеопасная жидкость, необходимо немедленно выключить все газовые горелки, нагревательные приборы и рубильник электросети, пролитую жидкость засыпать песком и убрать.

5. В лаборатории часто приходится работать с перекисями. Перекиси являются неустойчивыми веществами, многие из них способны разлагаться со взрывом. Взрыв перекисей может быть вызван сотрясением, трением, нагреванием. При работе с перекисями необходимо строго выполнять определенные правила и применять средства защиты (щиток на лицо, толстые резиновые перчатки, защитный экран из оргстекла).

6. Пары многих веществ оказывают вредное действие на человеческий организм. Из них следует особо отметить пары брома, ртути, а также метилового спирта, бензола, дихлорэтана и других ароматических углеводородов.

Особенно опасны пары ртути. Пролитую ртуть (даже в минимальных количествах) необходимо сразу же убрать при помощи стеклянной ловушки с резиновой грушей. Место, где была пролита ртуть, обрабатывают 3%-ным раствором перманганата калия или 20%-ным водным раствором хлористого железа.

Правила работы со сжатыми газами и электроприборами

Баллоны со сжатыми, сжиженными и растворенными газами широко используются в химических лабораториях. Их следует устанавливать в вертикальном положении в стойке и прочно прикреплять к рабочему столу с помощью хомутов. При этом штуцер и редуктор направляют в сторону, где нет

людей. Баллоны устанавливаются вдали от источника тепла и в местах, закрытых от попадания прямых солнечных лучей. Кислородные баллоны устанавливают в местах, исключающих попадание на них масла, жира и промасленных тряпок. Газ из баллона расходуется только через редуктор. Открывать и закрывать вентили баллонов нужно плавно и медленно. Сначала открывается вентиль, а затем – редукторный клапан. При закрывании порядок обратный.

При работе с электрооборудованием и электроприборами возможны случаи поражения людей электрическим током и возникновения пожара или взрыва, причинами которых могут быть работы при неисправном электрооборудовании. Во избежание этого необходимо соблюдать следующие правила:

- 1) работа в лаборатории должна проводиться только при исправном электрооборудовании;
- 2) запрещается переносить включенные приборы;
- 3) в случае перерыва в подаче тока все электроприборы должны быть выключены;
- 4) в помещениях, где проводятся работы с горючими веществами, допускается применение электронагревательных приборов только с закрытым обогревом.

~~Первая помощь пострадавшим~~
При несчастных случаях в химических лабораториях необходимо принять следующие меры.

1. При отравлении пострадавшего необходимо быстро вывести из загазованной атмосферы на свежий воздух. При потере сознания сделать искусственное дыхание.

2. При термических ожогах обожженное место смочить этиловым спиртом или раствором марганцово-кислого калия либо наложить повязку с мазью от ожогов.

3. При химических ожогах нужно удалить с кожи химическое вещество, а затем пораженный участок тела обработать этиловым спиртом.

4. При ожогах кислотами или щелочами нужно быстро промыть обожженное место сильной струей воды, а затем обработать его нейтрализующими средствами. При ожогах глаз следует промыть их большим количеством воды.

5. При поражении электрическим током, если пострадавший остался под ним, следует выключить ток. Если нет возможности отключить ток, то оказывающий помощь должен изолировать свои руки и отделить пострадавшего от токоведущих частей. Нельзя прикасаться к человеку, находящемуся под током, голыми руками. Если пораженный электротоком потерял сознание, ему следует сделать искусственное дыхание.

Лабораторная работа №2

Наночастицы в строительстве (на примере нанокремнезема для модификации цементных композитов)

1. Теоретическая часть

Наночастицы в строительстве применяются для улучшения механических свойств, долговечности и специальных функций строительных материалов:

- **Нанокремнезем (SiO_2 , 10–100 нм)** – пуццолановая добавка: реагирует с $\text{Ca}(\text{OH})_2$ при гидратации цемента, образуя дополнительный C-S-H гель (уплотнение структуры, повышение прочности, снижение проницаемости).
- **Нано- TiO_2** – фотокаталитическая активность (самоочищение, разложение NO_x).
- **Нано- CaCO_3** – «зародыши» для роста гидратных фаз, ускорение твердения.
- **Углеродные нанотрубки** – повышение трещиностойкости.

Механизм действия нанокремнезема:

1. Заполнение нанопор (сито портландцементного камня уплотнение).
2. Повышение степени гидратации за счет дополнительных центров кристаллизации.
3. Потребление портландита $\text{Ca}(\text{OH})_2$, что снижает коррозию арматуры.

2. Цель работы

Исследовать влияние добавки нанокремнезема (аморфного SiO_2) на прочность и водопоглощение цементного образца.

3. Оборудование и материалы

Оборудование:

- Весы аналитические (0,01 г)
- Формы для цементных «кубиков» 20×20×20 мм (силиконовые)
- Гидравлический пресс (или рычажный прибор для испытания на сжатие)
- Сушильный шкаф (40–60°C) и эксикатор

- Штангенциркуль (для измерения геометрии образцов)

Материалы:

- Портландцемент ЦЕМ I 42,5 (или М400)
- Песок кварцевый (фракция 0,1–0,6 мм) – для стандартного раствора 1:3 (цемент:песок)
- Вода дистиллированная
- Нанокремнезем (аэросил или коммерческая добавка, размер 10–40 нм) – 0,5%, 1%, 2% от массы цемента
- Суперпластификатор (например, С-3, чтобы компенсировать повышенную водопотребность) – опционально

4. Порядок выполнения работы

- 1. Приготовление составов (4 состава):**
 - Контроль: цемент + песок + вода ($V/C = 0,4$)
 - Состав 1: +0,5% нанокремнезема от массы цемента
 - Состав 2: +1% нанокремнезема
 - Состав 3: +2% нанокремнезема
 - *Для нанокремнезема:* предварительно диспергировать в воде с помощью ультразвуковой ванны 5–10 мин.
- 2. Перемешивание:** сухая смесь цемент+песок+наноSiO₂ → добавить воду → перемешивать вручную 3 минуты.
- 3. Формование:**
 - Залить раствор в формы, уплотнить постукиванием.
 - Хранить 24 часа в форме под влажной тканью (20°C, 95% влажность).
 - Распалубка, маркировка.
- 4. Твердение:** выдержать образцы в воде 28 суток (стандартный срок) или в ускоренном режиме – 7 суток в воде при 40°C (для учебной лаборатории).
- 5. Испытания:**
 - **Прочность на сжатие** (разрушающая нагрузка / площадь). Для каждого состава – 3 образца, среднее.

○ **Водопоглощение по массе:** высушить до постоянной массы при 60°C → взвесить → погрузить в воду на 48 часов → повторно взвесить.

6. **Построить графики:**

- $R_{сж} = f(\% \text{ наноSiO}_2)$
- $\text{Водопоглощение} = f(\% \text{ наноSiO}_2)$

5. Вопросы к лабораторной работе

1. Каков оптимальный процент добавки нанокремнезема в цементном тесте и почему превышение ведет к снижению прочности?
2. Чем отличается действие нанокремнезема от микрокремнезема (микрокремнезема)?
3. Что такое пуццолановая реакция? Напишите уравнение.
4. Как влияет нанокремнезем на коррозию стальной арматуры в бетоне?
5. Почему для наночастиц требуется дополнительное диспергирование (ультразвук, пластификаторы)?
6. Как с помощью нано-TiO₂ добиться фотокаталитического самоочищения фасада?

Лабораторная работа №3
Синтез керамики (на примере золь-гель синтеза нанопорошка TiO₂ для фотоактивной керамики)

1. Теоретическая часть

Керамические материалы на основе нанопорошков обладают улучшенной спекаемостью, более высокой прочностью и новыми функциями (фотокатализ, сегнетоэлектричество). **Золь-гель метод** позволяет получить ультрадисперсный TiO₂ (анатаз/рутил) контролируемого размера.

Химия золь-гель процесса (на примере тетраизопротитаната):

- Гидролиз: $\text{Ti}(\text{O-iPr})_4 + 4\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ti}(\text{OH})_4 + 4 \text{C}_3\text{H}_7\text{OH}$
- Поликонденсация: $\equiv\text{Ti}-\text{OH} + \text{HO}-\text{Ti}\equiv \rightarrow \equiv\text{Ti}-\text{O}-\text{Ti}\equiv + \text{H}_2\text{O}$

Факторы, влияющие на размер наночастиц:

- Соотношение $\text{H}_2\text{O}/\text{алкоксид}$ ($R = \text{гидролизное число}$)
- pH среды (кислый катализ – паутиная структура, щелочной – коллоидные частицы)
- Температура и скорость старения

Применение нано- TiO_2 в керамике: фотокаталитические покрытия (самоочищающаяся плитка), газовые сенсоры, УФ-фильтры.

2. Цель работы

Синтезировать нанопорошок диоксида титана (TiO_2) золь-гель методом и охарактеризовать его (размер частиц, полиморфная модификация – анатаз/рутил – по цвету/нагреву).

3. Оборудование и материалы

Оборудование:

- Магнитная мешалка с подогревом
- pH-метр
- Центрифуга (4000–6000 об/мин) или вакуумный фильтр
- Сушильный шкаф (80–120°C)
- Муфельная печь (до 600°C)
- Кюветы для спектрофотометра (при наличии)

Материалы:

- Тетраизопропилтитанат ($\text{Ti}(\text{O-iPr})_4$) – 5 мл
- Этанол абсолютный (99,8%)
- Вода дистиллированная
- Азотная кислота (HNO_3) 0,1 М для подкисления
- Водный аммиак (NH_3) 0,1 М (для сравнения щелочного синтеза)

4. Порядок выполнения работы

Опыт А (кислотный катализ – мелкие частицы):

1. Растворить 5 мл $\text{Ti}(\text{O-iPr})_4$ в 20 мл абсолютного этанола (перемешивание 5 мин).
2. Отдельно приготовить 10 мл воды + 20 мл этанола + 0,5 мл 0,1 М HNO_3 .

3. При интенсивном перемешивании добавлять раствор 2 к раствору 1 по каплям (30–40 минут). Образуется прозрачный золь.
4. Перемешивать 1 час при комнатной температуре.
5. Оставить для гелеобразования на 24 часа при комнатной температуре (или ускорить при 60°C).
6. Высушить гель при 80°C до полного удаления растворителей.

Опыт Б (щелочной катализ – для сравнения) – повторить с добавлением NH_3 вместо HNO_3 .

Термическая обработка:

- Полученный ксерогель разделить на 2 части:
 - Часть 1 – без нагрева (аморфный/анатаз)
 - Часть 2 – прокалить в муфельной печи при 500°C 2 часа (скорость подъема 5°C/мин) – переход в рутил.
- Растереть в агатовой ступке.

Характеристика:

- Цвет: анатаз – белый; рутил – слегка желтоватый.
- При наличии дифрактометра – идентифицировать фазу по главным пикам.
- Размер: седиментационный тест (скорость оседания) или УФ-видимая спектроскопия (сдвиг края поглощения для наночастиц).

5. Вопросы к лабораторной работе

1. Почему для золь-гель синтеза требуются алкоксиды, а не обычные соли (например, TiCl_4)?
2. Как pH влияет на морфологию золя (нитевидная, глобулярная)?
3. При какой температуре происходит полиморфный переход анатаз → рутил? Каков размер кристаллитов при этом?
4. Для каких керамических изделий применяют нано- TiO_2 ? Приведите примеры.
5. В чем разница между «нанопорошком» для керамики и «нанопокрытием»?

6. Почему нано-TiO₂ используется в воздухоочистителях и самоочищающихся стёклах?

Лабораторная работа №4

Наночастицы селена в молоке (обогащение молочных продуктов наноселеном)

1. Теоретическая часть

Селен (Se) – эссенциальный микроэлемент (антиоксидантная защита, когнитивные функции). Однако токсичность и узкое окно концентраций (50–200 мкг/сут) требуют контролируемых форм. **Наночастицы селена (SeNPs, 20–100 нм)** обладают высокой биодоступностью и меньшей токсичностью по сравнению с селенитом/селенатом.

Методы синтеза SeNPs:

- Химическое восстановление (Na_2SeO_3 + аскорбиновая кислота / глутатион)
- Биологический синтез (бактерии, дрожжи)
- Добавление в молоко: важна стабилизация (белки молока – природные стабилизаторы).

Особенности молока как матрицы:

- Казеин и сывороточные белки обволакивают наночастицы, предотвращая агрегацию.
- pH молока (6,5–6,7) – оптимален для стабильности SeNPs.

2. Цель работы

Синтезировать наночастицы селена восстановлением селенита натрия аскорбиновой кислотой в среде пастеризованного молока и оценить стабильность полученной суспензии.

3. Оборудование и материалы

Оборудование:

- Магнитная мешалка (может быть без нагрева)
- Спектрофотометр (видимый диапазон)

- рН-метр
- Пробирки 15 мл
- Ультразвуковая баня (опционально)

Материалы:

- Молоко пастеризованное 2,5–3,2% жирности
- Na_2SeO_3 (селенит натрия) – 1 мМ раствор
- Аскорбиновая кислота (витамин С) – 10 мМ свежеприготовленный раствор
- Дистиллированная вода (для контрольных опытов)

4. Порядок выполнения работы

Синтез SeNPs в молоке:

1. В пробирку внести 9 мл молока.
2. Добавить 0,5 мл 1 мМ Na_2SeO_3 (конечная концентрация селенита 0,05 мМ).
3. Добавить 0,5 мл 10 мМ аскорбиновой кислоты (при соотношении Se:аскорбат $\approx 1:10$).
4. Перемешать, оставить при комнатной температуре.
5. **Наблюдение:** через 5–30 минут раствор окрашивается из белого в бледно-красный/кирпичный (характерный цвет SeNPs, плазмонный резонанс ~ 280 нм, но в видимой области они кажутся красными из-за рассеяния).
6. Через 1 час и 24 часа снять видимый спектр (400–700 нм) – если есть спектрофотометр, или визуально оценить цвет и осадок.

Контроли:

- Контроль 1: молоко + Na_2SeO_3 без аскорбата (не должно краснеть).
- Контроль 2: вода вместо молока (SeNPs осаждаются быстро – видимый красный осадок на дне, молоко стабилизирует).

Тест на стабильность:

- Пробирку с молоком + SeNPs центрифугировать 5 минут при 2000 g. Оценить, появился ли осадок (стабильные частицы останутся в суспензии).

5. Вопросы к лабораторной работе

1. Почему наночастицы селена имеют красный цвет, а массивный селен – серый/черный? (связь с плазмонным резонансом и шириной запрещенной зоны)
 2. Какие компоненты молока выступают стабилизаторами наночастиц?
 3. В чем отличие токсикокинетики наноселена от селенита натрия?
 4. Почему для обогащения продуктов предпочитают SeNPs, а не селенометионин?
 5. Как проверить, что образовавшиеся частицы – это именно наночастицы селена, а не другой продукт (например, агрегаты белка)?
 6. Какие методы могут быть использованы для определения содержания селена в молоке после синтеза?
-

Лабораторная работа №14 Наноэмульсии витаминов в пищевой промышленности (на примере наноэмульсии витамина D3)

1. Теоретическая часть

Наноэмульсии – термодинамически стабильные (или метастабильные) системы с размером капель 20–200 нм, прозрачные или полупрозрачные. Преимущества для витаминов:

- Повышение биодоступности (жирорастворимые витамины А, D, Е, К)
- Устойчивость к окислению
- Возможность включения в водные напитки, соусы, молочные продукты

Способы получения:

- Высокоэнергетический (ультразвуковая гомогенизация, Microfluidizer)

- Низкоэнергетический (метод фазовой инверсии PIT – Phase Inversion Temperature)

Стабилизаторы (эмульгаторы, ПАВ): Tween 80, лецитин, белки молочной сыворотки, модифицированные крахмалы.

2. Цель работы

Приготовить наноэмульсию витамина D3 в воде методом ультразвуковой гомогенизации и оценить размер капель (косвенно по светорассеянию – шкала мутности).

3. Оборудование и материалы

Оборудование:

- Ультразвуковой диспергатор (гомогенизатор, 20–40 кГц, 100–200 Вт) – или мощная ультразвуковая ванна (тип Elma, 80 Вт)
- Турбинная мешалка (магнитная)
- Нефелометр (или спектрофотометр для измерения мутности при 500 нм)
- pH-метр

Материалы:

- Витамин D3 (холекальциферол) – масляный раствор (например, в оливковом масле, 1 мг/мл)
- Масло-носитель: среднецепочечные триглицериды (MCT oil) или оливковое масло
- Эмульгатор: Tween 80 (полисорбат 80) – гидрофильно-липофильный баланс (HLB $\approx$ 15)
- Вода дистиллированная
- Консервант (например, калия сорбат 0,1%) – опционально

4. Порядок выполнения работы

1. **Приготовление масляной фазы** (5 % масла от общей массы эмульсии):

- Смешать масло (MCT) + витамин D3 (из расчета 500 МЕ/мл конечной эмульсии). Тщательно перемешать.

2. Приготовление водной фазы:

○ Вода дистиллированная + эмульгатор Tween 80 (2–5% от массы водной фазы). Нагреть до 40°C для растворения.

3. Предварительная эмульсия:

○ При перемешивании (турбинная мешалка, 500 об/мин) по каплям добавлять масляную фазу к водной. Получится мутная грубая эмульсия (размер капель 1–10 мкм).

4. Ультразвуковая гомогенизация:

○ Поместить пробирку с грубой эмульсией в ледяную баню (для отвода тепла).

○ Погрузить зонд ультразвукового диспергатора.

○ Обрабатывать 3–5 минут (режим: импульс 10 с, пауза 5 с, амплитуда 70%). Эмульсия становится опалесцирующей/прозрачной.

5. Анализ размера капель (косвенный):

○ Измерить оптическую плотность при 500 нм (или интенсивность рассеянного света – нефелометр). Чем прозрачнее, тем мельче капли (при размере $\ll \lambda$).

○ Контроль: грубая эмульсия до УЗ-обработки.

6. Тест на стабильность: центрифугирование 15 мин при 3000 об/мин – отсутствие расслоения показывает наноразмер.

5. Вопросы к лабораторной работе

1. Почему наноэмульсии могут быть термодинамически стабильными, в отличие от микроэмульсий?

2. Какой параметр (HLB) эмульгатора должен быть подобран для жирорастворимого витамина?

3. В чем преимущество наноэмульсии витамина D3 перед масляным раствором при добавлении в сок или молоко?

4. Как перегрев при ультразвуковой обработке может разрушить витамин?

5. Что такое «коалесценция» и «Оствальдово созревание» – основные механизмы дестабилизации наноэмульсий.

6. Какие аналитические методы (кроме светорассеяния) позволяют подтвердить наличие витамина D3 в наноэмульсии?

Лабораторная работа №15

Наночастицы в моющих средствах (серебро, медь) – синтез и бактерицидная активность

1. Теоретическая часть

Наночастицы серебра (AgNPs) и меди (CuNPs) добавляют в моющие средства для придания длительного **антимикробного действия**. Механизм:

- Высвобождение ионов $\text{Ag}^+/\text{Cu}^{2+}$, нарушение мембран, ингибирование ферментов, генерация ROS.
- Для очищающих жидкостей важно, чтобы наночастицы не осаждались и не агрегировали в присутствии ПАВ.

Стабилизация в моющем средстве:

- ПАВ (анионные – SDS, / неионогенные – Tween) адсорбируются на наночастицах.
- pH (щелочной для моющих средств) – может влиять на скорость окисления.

Простой зеленый синтез в модельном моющем растворе – восстановление нитрата серебра раствором глюкозы в присутствии жидкого мыла.

2. Цель работы

Синтезировать наночастицы серебра непосредственно в растворе модельного моющего средства (жидкое мыло + глюкоза) и провести простейший тест на антибактериальную активность (диффузия в агаре).

3. Оборудование и материалы

Оборудование:

- Магнитная мешалка с подогревом (до 60°C)

- Спектрофотометр (400–500 нм)
- Стерильные чашки Петри, бактериологическая петля
- Термостат (37°C)

Реактивы и материалы:

- Жидкое мыло (без отдушек, нейтральное) – 10 мл на опыт
- Глюкоза – 5% раствор
- AgNO_3 – 10 мМ раствор
- Питательный агар (LB или NA)
- Тест-культура: *E. coli* (или *S. aureus*) – суточная культура

4. Порядок выполнения работы

Синтез AgNPs в моющем средстве:

1. Приготовить смесь в пробирке:
 - 5 мл жидкого мыла
 - 1 мл 5% глюкозы
 - 3 мл дистиллированной воды.
2. Нагреть до 50–60°C при перемешивании.
3. Добавить 1 мл 10 мМ AgNO_3 (конечная концентрация Ag ~ 1 мМ).
4. Инкубировать 30–60 минут при 50°C (происходит восстановление глюкозой в щелочной среде мыла).
5. Контроль: такой же состав без AgNO_3 / без глюкозы.
6. **Фиксация:** визуально (светло-желтый → коричневый цвет AgNPs) и спектрофотометрия (пик 410–430 нм).

Антибактериальный тест (диффузия в агаре):

1. Засеять газоном тест-культуру на чашку Петри с агаром.
2. Просверлить (или вырезать) лунки диаметром 6 мм.
3. Внести в лунки по 30 мкл:
 - Опыт: синтезированные AgNPs в мыле
 - Контроль: мыло без AgNPs
 - Контроль: мыло + AgNO_3 без восстановления
4. Инкубировать 24 часа при 37°C.

5. Измерить диаметр зон подавления роста (признак антимикробной активности).

5. Вопросы к лабораторной работе

1. Почему наночастицы серебра и меди эффективнее действуют в составе моющего средства по сравнению с простым раствором ионов?
2. Как ПАВ влияет на агрегативную устойчивость AgNPs?
3. Почему глюкоза восстанавливает серебро именно при нагревании и в щелочной среде?
4. Какой механизм дезактивации бактерий – контактный или ионный?
5. Может ли длительное использование Ag-содержащих моющих средств привести к появлению устойчивых штаммов?
6. Каким методом можно измерить скорость выделения ионов серебра из наночастиц в моющем растворе?

Лабораторная работа №16

Пленки с бактерицидным действием (на основе наночастиц серебра в полимерной матрице)

1. Теоретическая часть

Антибактериальные пленки используются для упаковки продуктов, повязок, покрытий дверных ручек. Основной метод: введение AgNPs (или CuNPs, ZnO) в полимер (поливиниловый спирт ПВС, желатин, альгинат, хитозан).

Способы формирования пленок:

- Кастинг (выливание раствора с последующим испарением растворителя)
- Электроспиннинг – получение нановолокон

Важные параметры:

- Равномерность распределения наночастиц (слабая агрегация дает большие кластеры)

- Скорость диффузии ионов Ag^+ из пленки (контролируемое высвобождение)
- Механическая прочность пленки (нанонаполнители могут армировать)

2. Цель работы

Изготовить полимерную пленку (на основе крахмала или ПВС), содержащую наночастицы серебра, и протестировать ее антибактериальную активность по зоне ингибирования.

3. Оборудование и материалы

Оборудование:

- Магнитная мешалка с подогревом (до 80°C)
- Планшет (или чашка Петри) плоскодонные для разлива пленок
- Экскатор (или осушитель)
- Спектрофотометр (УФ-вид), но не обязательно

Материалы:

- Поливиниловый спирт (ПВС) 10% водный раствор (или растворимый крахмал 5%)
- Глицерин (пластификатор) – 1 мл на 50 г ПВС
- AgNPs (предварительно синтезированные, например, цитратным методом) – золь с концентрацией $\text{Ag} \sim 0,1$ мг/мл
- Чашки Петри (пластик, 60 мм)
- Тест-культура: *E. coli* (или *Bacillus subtilis*)
- Питательный агар

4. Порядок выполнения работы

Приготовление пленки:

1. Приготовить 10% раствор ПВС: нагреть при 80°C в воде при перемешивании (30 минут). Охладить до 40°C.
2. Добавить глицерин (пластификатор, 2% от массы ПВС).
3. Разделить раствор на 2 части:
 - Контрольная пленка (без AgNPs)

○ Опытная: добавить золь AgNPs до концентрации 0,01–0,05% масс. Ag (относительно сухого ПВС).

4. Аккуратно перемешать (избегая пены).
5. Разлить по 10 мл раствора на чашки Петри (горизонтальная сушка).
6. Сушить при комнатной температуре 24–48 часов до образования прозрачной эластичной пленки.
7. Аккуратно снять пленку.

Антибактериальный тест:

1. Засеять чашку с агаром газоном тест-культуры.
2. Вырезать диски диаметром 8 мм из контрольной и опытной пленок.
3. Поместить диски на агар (2–3 диска на чашку).
4. Инкубировать при 37°C 24 часа.
5. Измерить зону задержки роста вокруг диска (сравнить с контролем).

5. Вопросы к лабораторной работе

1. Как полимерная матрица влияет на скорость выделения ионов серебра?
2. Почему добавление глицерина необходимо для получения эластичной пленки?
3. Какие факторы определяют прозрачность (мутность) Ag-пленки?
4. Можно ли сделать пленку на основе хитозана? В чем его собственное бактерицидное действие?
5. Как проверить, сохраняются ли наночастицы в пленке в наноразмерном состоянии или агрегируют?
6. Приведите примеры коммерческих продуктов: бактерицидные пленки для пищевой упаковки.

Лабораторная работа №17

Мази и гели с наночастицами (на примере геля с наночастицами диоксида титана для ранозаживления или солнцезащиты)

1. Теоретическая часть

Наноразмерные формы активных компонентов в фармацевтических гелях и мазях обеспечивают:

- Улучшенную пенетрацию через роговой слой кожи
- Контролируемое высвобождение
- Снижение раздражения (например, TiO_2 в нанокристаллической форме – менее цитотоксичен)

Примеры:

- Нано- TiO_2 – солнцезащитные гели (УФ-фильтр), а также антибактериальный эффект.
- Нано-Ag – противомикробные мази.
- Нано-оксид цинка – подсушивающее и противовоспалительное.

Структура гидрогеля:

- Водная фаза + загуститель (карбомер, гидроксиэтилцеллюлоза, натрий-карбоксиметилцеллюлоза) + нейтрализатор (для карбомера – ТЕА).
- Консервант, увлажнители.

2. Цель работы

Приготовить гидрогель на основе карбомера, содержащий наночастицы TiO_2 (или коммерческий нанопорошок TiO_2), и оценить его солнцезащитные свойства (качественно: по УФ-поглощению мазка).

3. Оборудование и материалы

Оборудование:

- Магнитная мешалка
- рН-метр
- Весы
- Стеклянные предметные пластинки
- УФ-лампа (365 нм) или простой УФ-фонарик и фотобумага

Материалы:

- Карбомер 940 (или 934) – 0,5 г
- Триэтаноламин (ТЭА) – для нейтрализации (0,5–0,7 мл)

- Нано- TiO_2 (анатаз, 20–50 нм) – коммерческий или синтезированный (лаб. работа №12)

- Глицерин – 2 мл
- Вода дистиллированная – до 50 г
- Феноксизтанол (консервант, опционально)
- Образец коммерческого солнцезащитного крема (для сравнения)

4. Порядок выполнения работы

Приготовление геля-основы:

1. В стакане на 100 мл диспергировать 0,5 г карбомера в 40 мл дистиллированной воды (при перемешивании 1–2 часа, или оставить набухать на ночь).
2. В отдельной посуде смешать 2 мл глицерина + 1 мл воды + нано- TiO_2 (30–100 мг, что составляет 0,1–0,3%).
3. Ультразвуком (или ручным перемешиванием) диспергировать TiO_2 в водно-глицериновой смеси.
4. Добавить TiO_2 -дисперсию к карбомеровой основе при перемешивании.
5. По каплям добавить ТЭА до достижения $\text{pH} \approx 6,5\text{--}7,0$ (гель загустевает, становится прозрачным или мутноватым – в зависимости от концентрации TiO_2).
6. Довести водой до общей массы 50 г.

Тест на УФ-поглощение:

1. Нанести тонкий слой полученного геля на стеклянную пластинку (толщина 1 мм).
2. Поместить под УФ-лампу (365 нм) на 30 секунд – наблюдать флуоресценцию или тепловой эффект.
3. **Качественный SPF-тест с фотобумагой:**
 - На полоску фотобумаги нанести: участок без покрытия, участок с коммерческим кремом, участок с вашим гелем.
 - Облучить УФ-светом (365 нм) 10–20 секунд.

○ После проявления сравнить потемнение фотобумаги (чем темнее, тем хуже защита).

4. Зафиксировать визуальную разницу.

5. Вопросы к лабораторной работе

1. Почему нано-TiO₂ (20 нм) прозрачен в видимом диапазоне, но эффективно поглощает УФ?

2. Какова роль нейтрализации карбомера в гелеобразовании?

3. В чем отличие гидрогеля от липофильной мази для наночастиц?

4. Почему наночастицы в мазях должны быть стабилизированы (ПАВ/полимеры)?

5. Может ли ультрадисперсный TiO₂ проникать через здоровую кожу и насколько это безопасно?

6. Как измерить фактор защиты от солнца (SPF) в лабораторных условиях без специального оборудования?

Лабораторная работа №18

Сенсорные материалы – синтез ГЦФ d-элементов (на примере гексацианоферрата(II) меди – CuHCF)

1. Теоретическая часть

ГЦФ (гексацианоферраты) или металлогексацианоферраты – это координационные полимеры с общей формулой $A_xM_x[Fe(CN)_6]_y$, где М – переходный металл (Cu, Co, Ni, Zn). Эти материалы проявляют:

- Электрохромизм (изменение цвета при изменении напряжения)
- Электрокаталитическую активность (сенсоры на пероксид водорода, глюкозу)
- Селективный захват ионов Cs⁺, аммония

Синтез гексацианоферрата меди(II):

$Cu^{2+} + K_4[Fe(CN)_6] \rightarrow Cu_2[Fe(CN)_6]$ (осадок коричнево-красного цвета) – наночастицы размером 30–100 нм.

Применение в сенсорике:

- Электрохимический сенсор на H_2O_2 (покрытие ГЦФ на стеклоуглеродном электроде)

- Оптический сенсор на аммиак (изменение цвета)

2. Цель работы

Синтезировать наночастицы гексацианоферрата меди (CuHCF) методом химического осаждения, исследовать их цветовую реакцию на разные концентрации H_2O_2 (моделирование сенсора).

3. Оборудование и материалы

Оборудование:

- Магнитная мешалка
- Центрифуга (4000 об/мин)
- Спектрофотометр (диапазон 400–800 нм) или планшет
- Микроскоп ($\times 1000$) для оценки размеров (опционально)

Материалы:

- $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (0,01 М)
- $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6] \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ (ферроцианид калия, 0,01 М)
- KNO_3 (0,1 М) – для ионной силы
- H_2O_2 (3%, разбавить до 0,05–1%)
- Дистиллированная вода

4. Порядок выполнения работы

Синтез нано- CuHCF :

1. Приготовить 50 мл 0,01 М CuSO_4 .
2. Приготовить 50 мл 0,01 М $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ + 0,1 М KNO_3 .
3. При интенсивном перемешивании добавить раствор (2) к раствору (1) по каплям (20 мин). Образуется коричневый золь.
4. Перемешивать 30 минут, затем отцентрифугировать (10 мин, 4000 об/мин). Промыть осадок водой 2 раза.
5. Ресуспендировать осадок в 20 мл воды (золь CuHNF).

Тест сенсорных свойств (каталитическое восстановление H_2O_2):

1. В кюветы (прозрачные пробирки) налить:

- Контроль: 2 мл воды
- Образцы: 2 мл золя CuHCF + добавки H_2O_2 до концентраций 0,1; 0,5; 2 мМ.

2. Наблюдать изменение цвета во времени (0, 5, 15 мин). CuHCF восстанавливает H_2O_2 ; при этом феррицианид переходит в ферроцианид, что меняет оттенок (коричневый → зеленовато-желтый).

3. Снять спектр в диапазоне 400–800 нм (максимум поглощения ~480 нм для CuHCF). Построить калибровочную зависимость степени изменения оптической плотности от концентрации H_2O_2 .

5. Вопросы к лабораторной работе

1. Почему гексацианоферраты называют «искусственными пероксидазами»?
 2. Какова роль KNO_3 (фоновый электролит) при синтезе?
 3. Как изменится сенсорный отклик, если использовать частицы микронного размера вместо нано?
 4. Какие d-элементы (кроме Cu) еще используются в ГЦФ для сенсоров?
 5. Какие аналиты (кроме H_2O_2) можно детектировать с помощью CuHCF?
 6. Объясните механизм электрохромного эффекта в ГЦФ (свяжите с изменением степени окисления Fe).
-

Лабораторная работа №19

Наночастицы оксида олова (IV) как сенсорный материал для газов

1. Теоретическая часть

Полупроводниковые наночастицы оксида олова (SnO_2 , n-тип, ширина запрещенной зоны 3,6 эВ) используются в **резистивных газовых сенсорах** (этанол, CO, H_2 , NO_2). Принцип:

- Адсорбция молекул газа (восстановителя, например, этанола) → изменение концентрации электронов в приповерхностном слое → изменение электропроводности.

Выигрыш от наноразмера:

- Высокое отношение площади поверхности к объему → большая адсорбционная способность.
- Дебаевская длина экранирования сравнима с размером частиц → глубокий перестройка проводимости.

2. Цель работы

Синтезировать наночастицы SnO_2 золь-гель методом, сформировать тонкопленочный сенсорный слой на керамической подложке и качественно оценить его отклик на пары этанола.

3. Оборудование и материалы

Оборудование:

- Магнитная мешалка с подогревом
- Штатив с держателем резистивного датчика (или кусочек керамики с нанесенными Ag электродами)
- Мультиметр или микроамперметр с источником питания (5–10 В)
- Стеклянный эксикатор (камера для газовой атмосферы)

Материалы:

- $\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (хлорид олова)
- Этанол (абсолютный)
- Аммиак водный (NH_3 25%)
- Дистиллированная вода

- Керамическая подложка с контактами (или кусок текстолита с медными дорожками – менее термостойко)

4. Порядок выполнения работы

Синтез нано-SnO₂ (гидролиз SnCl₄):

1. Растворить 1 г SnCl₄·5H₂O в 10 мл этанола (на ледяной бане, т.к. реакция экзотермична).
2. При перемешивании добавить 0,5 мл воды + 10 мл этанола. Довести pH до ~8–9 добавлением NH₃·H₂O.
3. Образуется белый осадок Sn(OH)₄, который оставить на 2 часа.
4. Центрифугирование, промывка водой 2 раза, затем этанолом. Сушить при 80°C.
5. Прокалить при 500°C (муфель) 2 часа – получение SnO₂ нанокристаллического (размер ~10–20 нм).

Формирование сенсорного слоя:

6. Растертый нанопорошок SnO₂ смешать с небольшим количеством воды (паста).
7. Нанести на межэлектродный промежуток (керамической подложки) с помощью кисточки. Сушить при 100°C.
8. Прогреть сенсор (старение) при 200°C (на плите) в течение 30 минут.

Измерение отклика на этанол:

9. Подключить мультиметр (режим измерения сопротивления).
10. Замерить сопротивление сенсора на воздухе R_{возд}.
11. Поместить сенсор в герметичный сосуд с открытой емкостью, содержащей 5 мл этанола (давление насыщенных паров).
12. Замерить R_{этанол} через 2 минуты.
13. Вычислить отклик: $\Delta R/R = (R_{\text{возд}} - R_{\text{этанол}})/R_{\text{возд}} \times 100\%$.
14. После измерения сенсор вернуть на воздух – сопротивление восстанавливается.

5. Вопросы к лабораторной работе

1. Почему SnO_2 является сенсорным материалом для восстановительных газов?
 2. Как наноразмер кристаллитов влияет на чувствительность (сравнить с микро- SnO_2)?
 3. Какой газ (H_2 , CO , этанол) будет сильнее восстанавливать поверхность при прочих равных?
 4. Зачем нужна термообработка при 500°C ? Какая фаза образуется?
 5. Почему рабочие температуры для SnO_2 сенсоров составляют $250\text{--}400^\circ\text{C}$?
 6. Как можно повысить селективность (добавкой катализаторов – Pd, Pt)?
-

Лабораторная работа №20

Наноинкапсуляция функциональных добавок для пищевой промышленности (на примере инкапсуляции куркумина в липосомы)

1. Теоретическая часть

Наноинкапсуляция – заключение активных веществ (витамины, антиоксиданты, ароматизаторы) в наноразмерные капсулы (липосомы, полимерные наночастицы, циклодекстрины). Цели: защита от деградации, маскировка вкуса, контролируемое высвобождение.

Липосомы – фосфолипидные везикулы (двойной слой) размером $50\text{--}500$ нм. Куркумин – природный антиоксидант, плохо растворим в воде, быстро деградирует на свету; инкапсуляция увеличивает его стабильность и биодоступность.

Метод гидратации тонкой пленки + ультразвуковая экструзия – классический лабораторный метод получения липосом.

2. Цель работы

Приготовить липосомы с инкапсулированным куркумином, оценить эффективность инкапсуляции (спектрофотометрически) и стабильность в водной среде.

3. Оборудование и материалы

Оборудование:

- Роторный испаритель (или ток азота + сушильный шкаф)
- Ультразвуковой диспергатор (или ванна)
- Шприц (10 мл) и фильтры 200 нм (для экстракции)
- Спектрофотометр (400–600 нм)

Материалы:

- Лецитин (фосфатидилхолин) – 0,2 г
- Куркумин – 5 мг
- Хлороформ – 10 мл (для растворения липида – *работать в вытяжке*)
- PBS буфер (фосфатный, pH 7,4) – 10 мл
- Этанол (для раствора куркумина)

4. Порядок выполнения работы

Формирование липидной пленки:

1. Растворить 200 мг лецитина и 5 мг куркумина в 10 мл хлороформа (коническая колба).
2. Удалить растворитель при помощи роторного испарителя (40°C, вакуум) или под током азота на водяной бане – должна получиться тонкая желтая пленка на стенках.

Гидратация:

3. Добавить 10 мл PBS буфера (предварительно нагретого до 55°C).
4. Энергично встряхивать 15 минут – мультиламеллярные везикулы.

Уменьшение размера (экструзия):

5. Сделать 5–10 пропусканий суспензии через фильтр 200 нм (с помощью шприца) – получатся унимолекулярные липосомы.

6. Дополнительно обработать ультразвуком (баня) 5 минут.

Оценка инкапсуляции:

7. Отобрать 0,5 мл липосомальной суспензии, добавить 0,5 мл этанола (разрушение липосом и растворение куркумина).

8. Центрифугировать (10000 g) – удалить липидный осадок.

9. Измерить оптическую плотность супернатанта при 425 нм (максимум поглощения куркумина в этаноле) и сравнить с калибровочным графиком (свободный куркумин в этаноле).

10. Эффективность инкапсуляции $EE\% = (\text{Синкапс} / \text{Собщ}) \times 100\%$.

Контроль (размер): визуально – опалесцирующий раствор без видимого осадка.

5. Вопросы к лабораторной работе

1. Каковы преимущества липосомальной наноинкапсуляции по сравнению с простым раствором куркумина в масле?

2. Почему размер липосом после экструзии соответствует номиналу фильтра (200 нм)?

3. Какой метод (кроме описанного) можно использовать для проверки размера нанокапсул?

4. Как куркумин (гидрофобный) встраивается в липидный бислой?

5. Какие факторы влияют на стабильность липосом в пищевых продуктах (рН, ионная сила, ферменты)?

6. Приведите примеры коммерческих продуктов с наноинкапсулированными биологически активными добавками.

Лабораторная работа №21

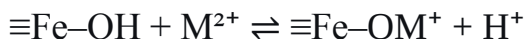
Наносорбенты для очистки воды (на примере наночастиц магнетита для удаления ионов тяжелых металлов)

1. Теоретическая часть

Наночастицы магнетита (Fe_3O_4 , 10–50 нм) – суперпарамагнитные и имеют высокую удельную поверхность. Группы поверхностных гидроксидов

($\equiv\text{Fe}-\text{OH}$) связывают ионы тяжелых металлов (Pb^{2+} , Cd^{2+} , As^{3+} , Cu^{2+}) через механизм хемосорбции/комплексобразования. Преимущество: легкое отделение от воды с помощью внешнего магнитного поля.

Реакция поверхности (для катионов металла):



Модифицированные наносорбенты – покрытие SiO_2 или меркаптогруппами повышает селективность.

2. Цель работы

Синтезировать наночастицы Fe_3O_4 соосаждением, изучить их адсорбционную способность по отношению к ионам Cu^{2+} (модельный раствор) и возможность магнитной сепарации.

3. Оборудование и материалы

Оборудование:

- Магнитная мешалка с подогревом
- pH-метр
- Неодимовый магнит (или постоянный магнит высокой коэрцитивности)
- Спектрофотометр (UV-Vis) – для определения остаточной конц. Cu^{2+} с реагентом
- Центрифуга

Материалы:

- $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (0,1 М) и $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (0,2 М)
- NH_3 25% – для осаждения
- Раствор CuSO_4 (концентрация 20–100 мг/л)
- Комплексон для фотометрии Cu^{2+} (например, аммиачный комплекс или дитизон – по инструкции педработ)

4. Порядок выполнения работы

Синтез магнетита (осаждение):

1. Смешать 20 мл 0,1 М FeCl_2 + 20 мл 0,2 М FeCl_3 + 40 мл воды.

2. При интенсивном перемешивании добавить быстро 10 мл 25% NH_3 (появляется черный осадок Fe_3O_4).
3. Перемешивать при 80°C 30 минут.
4. Отделить наночастицы магнитом (или центрифугированием), промыть водой до нейтрального pH (3–4 раза).
5. Ресуспендировать в 50 мл воды (концентрация $\text{Fe}_3\text{O}_4 \sim 2\text{--}4$ г/л).

Адсорбция Cu^{2+} :

6. Приготовить серию пробирок:
 - Контроль: 10 мл раствора CuSO_4 50 мг/л.
 - Опытные: 10 мл раствора CuSO_4 + 0,5 мл; 1,0 мл; 2,0 мл суспензии Fe_3O_4 .
7. Перемешивать 30 минут (лучше на встряхивателе или магнитной мешалке).
8. Магнитная сепарация (поднести магнит – магнетит с адсорбированной медью соберется на дне/стенке).
9. Взять надосадочную жидкость, определить остаточную концентрацию Cu^{2+} колориметрическим методом (с выбранным комплексоном, измерив поглощение).
10. Рассчитать адсорбционную емкость $Q = (C_0 - C) \times V / m$ (m – масса сорбента), моль/г.

5. Вопросы к лабораторной работе

1. Почему магнетит Fe_3O_4 является суперпарамагнитным в наноразмере, тогда как массивный Fe_3O_4 ферромагнитен?
2. В чем преимущества использования магнитных наносорбентов перед ионообменными смолами?
3. Как значение pH влияет на адсорбцию катионов металлов на Fe_3O_4 (объяснить через протонирование/депротонирование поверхности).
4. Может ли нано-магнетит сам образовывать коллоидную взвесь без магнитного поля – хорошо это или плохо для очистки?

5. Какой дополнительный реагент можно привить на поверхность Fe_3O_4 для селективного удаления As(III) ?
6. Как можно регенерировать наносорбент после использования?
-

Лабораторная работа №22

Наночастицы диоксида церия как антиоксидант в биомедицине и косметике

1. Теоретическая часть

Наночастицы CeO_2 (нанозерия, 5–20 нм) – редкоземельный материал с высокой каталитической активностью, проявляет **ферментоподобные свойства**:

- SOD-миметик (дисмутация супероксидного радикала O_2^-)
- Каталазоподобная активность (разложение H_2O_2)

Механизм – наличие смешанной валентности $\text{Ce}^{3+}/\text{Ce}^{4+}$ на поверхности, что позволяет эффективно переключать окислительно-восстановительные состояния без деградации.

Применение:

- Косметические кремы (защита от УФ, противовоспалительное)
- Биомедицина (нейропротекция, заживление ран, защита от радиации)

2. Цель работы

Синтезировать наночастицы CeO_2 , провести упрощенную оценку их антиоксидантной активности (восстановление H_2O_2 – выделение пузырьков газа).

3. Оборудование и материалы

Оборудование:

- Магнитная мешалка
- Центрифуга
- Муфельная печь

- Пробирки

Материалы:

- $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (0,1 М)
- NH_3 раствор (25%)
- H_2O_2 3% (для теста)
- Гваякол (или KI + крахмал – реакция на перекись)

4. Порядок выполнения работы

Синтез:

1. Растворить 2 г $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ в 20 мл воды.
2. Добавить по каплям концентрированный NH_3 до pH ~ 10 (выпадает белый/желтоватый осадок $\text{Ce}(\text{OH})_4$ / $\text{Ce}(\text{OH})_3$).
3. Выдержать сутки для старения (или 2 часа при 60°C).
4. Отфильтровать/центрифугировать, промыть водой, затем спиртом. Сушить при 80°C.
5. Прокалить при 400°C (2 часа) – получается светло-желтый порошок нано- CeO_2 .

Тест каталазной активности:

6. Приготовить суспензию CeO_2 в воде (2 мг/мл).
 7. В две пробирки налить по 2 мл 3% H_2O_2 .
 8. В опытную добавить 0,2 мл суспензии CeO_2 , в контроль – воду.
 9. Наблюдать выделение пузырьков кислорода (сколько за 30 секунд).
- Если есть каталазная активность – бурное газовыделение.

Тест пероксидазной активности (по желанию): окисление гваякола в тетрагваякол (коричневый цвет) в присутствии H_2O_2 и CeO_2 .

5. Вопросы к лабораторной работе

1. Какие степени окисления церия ($\text{Ce}^{3+}/\text{Ce}^{4+}$) отвечают за антиоксидантную активность?
2. Почему наноразмерные CeO_2 более активны, чем микронные?

3. Может ли нанозерия одновременно быть и прооксидантом? При каких условиях?
4. Как можно охарактеризовать дефектность поверхности нано- CeO_2 (при наличии оборудования)?
5. Приведите примеры нано- CeO_2 в коммерческой косметике (овсянка, солнцезащита).
6. Какой тест *in vitro* (кроме разложения H_2O_2) доказывает антиоксидантную активность?

Лабораторная работа №23

Наночастицы в электронике (на примере синтеза наночастиц ZnO для прозрачных проводящих плёнок и газовых сенсоров)

1. Теоретическая часть

В электронике наночастицы оксида цинка (ZnO , ширина запрещённой зоны ~ 3.37 эВ) используются для:

- Прозрачных токопроводящих покрытий (легирование алюминием – AZO);
- Газовых сенсоров (этанол, NO_2 , H_2);
- Светодиодов (УФ-эмиттеры);
- Пьезоэлектрических наногенераторов.

Контролируемый синтез наночастиц ZnO (гидротермальный / химическое осаждение из раствора) позволяет получать формы: сферические, стержни (наностержни), цветы.

Принцип резистивного газового сенсора на ZnO : адсорбция восстановительного газа (этанол) увеличивает электропроводность за счёт отдачи электронов. Наноразмер (10–50 нм) резко повышает чувствительность из-за большой поверхности и обеднённого слоя, сравнимого с размером частицы.

2. Цель работы

Синтезировать наночастицы ZnO (осаждением из раствора ацетата цинка), сформировать тонкоплёночный резистивный элемент и измерить его отклик на пары ацетона (или этанола).

3. Оборудование и материалы

Оборудование:

- Магнитная мешалка с подогревом
- Центрифуга (4000 об/мин)
- Сушильный шкаф (80°C)
- Муфельная печь (400–500°C)
- Мультиметр (измерение сопротивления)
- Стеклоянная камера (эксикатор) для паров этанола/ацетона
- Нагреваемая подложка (плитка до 200°C) или использование комнатной температуры (температурная зависимость)

Материалы:

- $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (ацетат цинка) – 0,1 М
- Гексаметилентетрамин (ГМТА, $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{N}_4$) – 0,1 М (для гидротермального роста)
- NaOH (0,1 М) – для осаждения
- Керамическая подложка с золотыми или серебряными межпальцевыми электродами (или нанесённые Ag-пастой контакты)

4. Порядок выполнения работы

Синтез нано-ZnO (гидротермальный при низкой температуре):

1. Смешать 50 мл 0,1 М $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ и 50 мл 0,1 М ГМТА.
2. Добавить по каплям 0,1 М NaOH до pH ~ 7 (появление помутнения).
3. Нагреть до 90°C на 3 часа (магнитная мешалка, с открытой крышкой). Образуется белый осадок ZnO.
4. Центрифугировать, промыть водой и этанолом, высушить при 80°C.
5. Прокалить при 400°C 1 час для удаления органических остатков.

Формирование сенсорного слоя:

6. Приготовить пасту: 50 мг нано-ZnO + несколько капель воды (или этанола).
7. Нанести тонкий слой пасты на межэлектродный промежуток керамической подложки.
8. Прогреть сенсор при 150°C (на плите) 30 минут.

Измерение отклика на пары этанола/ацетона:

9. Измерить сопротивление сенсора на воздухе при комнатной температуре ($R_{\text{возд}}$) и при подогреве до 150°C (для увеличения чувствительности).
10. Поместить в герметичную камеру (эксикатор) вату с 5 мл ацетона. Через 2–5 минут измерить сопротивление ($R_{\text{газ}}$).
11. Формула отклика (для восстановит. газа: сопротивление уменьшается). Определить величину $S = R_{\text{возд}} / R_{\text{газ}}$ (чувствительность).

5. Вопросы к лабораторной работе

1. Почему ZnO является n-полупроводником? Что такое кислородные вакансии и их роль?
 2. Как легирование алюминием (AZO) улучшает электропроводность ZnO?
 3. Объясните механизм изменения сопротивления ZnO при воздействии паров этанола.
 4. Почему для газовых сенсоров оптимальный размер кристаллитов (10–30 нм) меньше дебаевской длины экранирования ($\approx 20\text{--}40$ нм)?
 5. Какая форма наноструктур (наночастицы, наностержни, нанопоры) даст наибольшую чувствительность и почему?
 6. Какой газ (окислитель – NO_2) изменит сопротивление в противоположную сторону? Объясните.
-

Лабораторная работа №24

Материалы для регенерации тканей – пластыри с наночастицами (на примере хитозанового пластыря, легированного наночастицами цинка)

1. Теоретическая часть

Регенеративная медицина использует наноматериалы для ускорения заживления ран, восстановления костной, нервной ткани. **Пластыри с наночастицами** (т.н. «умные повязки») сочетают:

- полимерную матрицу (хитозан, альгинат, ПВС) – обеспечивает влажную среду, биосовместимость;
- наночастицы с терапевтическим действием:
 - **ZnO** (регуляция цитокинов, антимикробное действие);
 - **Ag** (антибактериальное);
 - **Cu** (ангиогенез);
 - **CeO₂** (антиоксидант).

Хитозан – биополимер с собственной ранозаживляющей активностью (мукозная адгезия). Введение нано-ZnO усиливает регенерацию эпителия и подавляет инфекцию.

2. Цель работы

Изготовить образец хитозановой плёнки (аналог пластыря), содержащей наночастицы ZnO, и оценить её цитосовместимость (модельно – по ингибированию роста тест-культуры *E. coli*) и способность к поглощению влаги (важно для раневого экссудата).

3. Оборудование и материалы

Оборудование:

- Магнитная мешалка
- Планшет (чашки Петри) для формования плёнок
- Эксикатор для сушки
- Толщиномер или штангенциркуль
- Весы аналитические
- Термостат (37°C)

Материалы:

- Хитозан (низкомолекулярный, степень деацетилирования >85%) – 2 г
- Уксусная кислота 1% раствор (для растворения хитозана)
- Нано-ZnO (синтезированный в работе №23) или коммерческий (20–50 нм)
- Глицерин (пластификатор) – 0,5 мл
- Тест-культура: E. coli
- Питательный агар (LB или NA)

4. Порядок выполнения работы

Приготовление хитозанового геля:

1. Растворить 2 г хитозана в 100 мл 1% уксусной кислоты при перемешивании (1–2 часа, возможно нагревание до 40°C).
2. Добавить 0,5 мл глицерина (для эластичности).
3. Разделить раствор на две части:
 - Контроль: гель без добавок.
 - Опыт: добавить 40 мг нано-ZnO (0,04% масс.), диспергировать (ультразвук 5–10 минут или интенсивное перемешивание).

Изготовление плёнок (пластырей):

4. В плоские чашки Петри вылить по 15 мл каждого раствора.
5. Сушить при комнатной температуре 24–48 часов до образования сухих пленок (толщина ~0,2–0,5 мм).
6. «Снять» пленки (аккуратно поддеть).

Антибактериальный тест (диффузия в агар):

7. Засеять газоном E. coli чашку с агаром.
8. Вырезать диски (диаметр 8 мм) из контрольной и опытной пленок.
9. Поместить на агар, инкубировать 24 часа, 37°C.
10. Измерить зоны подавления роста.

Тест на влагопоглощение (моделирование абсорбции экссудата):

11. Взвесить квадратики пленок (1×1 см, m_1), погрузить в физраствор на 1 час.

12. Промокнуть поверхность (быстро), взвесить (m_2).

13. Влагопоглощение = $(m_2 - m_1)/m_1 \times 100\%$.

5. Вопросы к лабораторной работе

1. Каким образом хитозан способствует заживлению ран (молекулярный механизм)?

2. Как наночастицы ZnO влияют на пролиферацию фибробластов и почему?

3. Почему желательна комбинация наночастиц металлов с полимерной матрицей, а не просто их втирание в рану?

4. Что такое «твичевая» адгезия хитозана и почему это важно для пластыря?

5. Как контролировать скорость высвобождения ионов цинка из пластыря?

6. Предложите способ модификации хитозанового пластыря для адресной доставки лекарства (например, антибиотика) – использование наночастиц в качестве контейнера.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Методические указания
по организации самостоятельной работы обучающихся по дисциплине
«Наноинженерия в различных отраслях»
для студентов направления подготовки
28.03.02 Наноинженерия
направленность (профиль) «Нанотехнологии и наноматериалы»

Ставрополь, 2026

Содержание

Пояснительная записка

Технологическая карта самостоятельной работы студента

Контрольные точки и виды отчетности по ним

Методические рекомендации по выполнению заданий

Список литературы, рекомендуемый к использованию в
самостоятельной работе студентов

Пояснительная записка

Изучение дисциплины формирует фундаментальное понимание взаимосвязи между химическим строением, молекулярной организацией и физико-химическими свойствами полимеров и наноразмерных систем. Эти знания являются критически важными для направленного синтеза материалов с заданными характеристиками – от биосовместимых покрытий и систем доставки лекарств до стабилизации наночастиц полисахаридами, что непосредственно применимо в разработке функциональных напитков и биоактивных добавок. Понимание механизмов самоорганизации, структурообразования и стабильности наноструктур позволяет прогнозировать поведение материалов в реальных условиях эксплуатации, что открывает пути к созданию инновационных продуктов с улучшенными потребительскими свойствами.

Цель освоения дисциплины: формирование набора универсальных компетенций будущего бакалавра и специалиста, формирование у бакалавров и специалистов представления о методах применения наноструктур и наноматериалов в различных областях.

Задачи освоения дисциплины

- изучение основного содержания всех разделов программы, включающих направления синтеза и применения наноматериалов и наноструктур в различных областях науки и техники;
- овладение методами получения и исследования наноматериалов и наноструктур;

Самостоятельной работа студентов может осуществляться как в аудитории, так и вне ее, обычно это в основном внеаудиторная деятельность студента. Для активного владения знаниями в процессе аудиторной работы необходимо не только понимание учебного материала, но и творческое его восприятие.

Основные формами реализации самостоятельной работы и контроля знаний являются:

Комплект разноуровневых задач и заданий – индивидуальное решение репродуктивных, реконструктивных и творческих заданий, позволяющих оценивать и диагностировать уровень обученности, уровень умений и навыков студентов по темам дисциплины. Процедура проведения этой формы учебной деятельности студента включает в себя письменное выполнение заданий трех уровней и защиту их на практическом занятии. При проверке задания, оцениваются полнота и самостоятельность выполнения заданий, оригинальность решения.

Опорный конспект темы – письменный текст, в котором кратко и последовательно изложено содержание основного источника информации. Конспектировать – значит приводить к некоему порядку сведения, почерпнутые из оригинала. В основе процесса лежит систематизация

прочитанного или услышанного. Записи могут делаться как в виде точных выдержек, цитат, так и в форме свободной подачи смысла. Данный вид самостоятельной работы направлен на формирование представлений о конфликтах.

Творческий проект – в творческий проект могут входить рисунки, аудио- и видеозаписи, различные тексты, т.е. разные виды информации, для обработки которых необходимо научиться работать с новыми программными продуктами. Для успешной реализации проекта, необходимо обратить внимание на выбор темы и на цели, которые решаются учащимися самостоятельно.

Собеседование – средство контроля, организованное как специальная беседа преподавателя со студентом на темы, связанные с изучаемой дисциплиной, и рассчитанное на выяснение объема знаний обучающегося по определенному разделу, теме, проблеме и т.п.

Деловая игра - совместная деятельность группы обучающихся и педагогического работника под управлением педагогического работника с целью решения учебных и профессионально-ориентированных задач путем игрового моделирования реальной проблемной ситуации. Позволяет оценивать умение анализировать и решать типичные профессиональные задачи.

«Круглый стол» – рассмотрение проблемы во взаимосвязи отдельных ее аспектов. Это требует от студентов не только более тщательной подготовки, но и овладения навыками ведения дискуссии, аргументации собственной точки зрения, а также наличия достаточно высокого уровня толерантности. Задачами «круглого стола» является обобщение данного опыта; выработка умения выделять наиболее важные аспекты проблемы, не отрываясь при этом от общего ее контекста.

Их содержание должно сформировать умение анализировать философско-методологические и научные тексты, обосновывать своё отношение к изложенным в них оценкам, составлять краткие конспекты, тезисы прочитанного, умение применять полученные знания для постановки и решения исследовательских задач, связанных с изучением студентами той или иной области природы и культуры. Разнообразие заданий позволяет учитывать индивидуальные особенности студентов при организации самостоятельной работы.

Четкое выполнение самостоятельной работы студентами обеспечит заблаговременную подготовку к занятию, высокое качество усвоения материала, возможность применения теоретических знаний на практике.

1. Технологическая карта самостоятельной работы обучающегося

Коды	Вид	Средства и	Объем часов, в том числе
------	-----	------------	--------------------------

реализуемых компетенций, индикатора(ов)	деятельности студентов	технологии оценки	СРС	Контактная работа с преподавателем	Всего
6 семестр					
ИД-1 _{ПК-2} ИД-2 _{ПК-2} ИД-3 _{ПК-2} ИД-4 _{ПК-2} ИД-5 _{ПК-2}	Самостоятельное изучение темы № 1		9,0	1,0	10
ИД-1 _{ПК-2} ИД-2 _{ПК-2} ИД-3 _{ПК-2} ИД-4 _{ПК-2} ИД-5 _{ПК-2}	Самостоятельное изучение темы № 2		9,0	1,0	10
ИД-1 _{ПК-2} ИД-2 _{ПК-2} ИД-3 _{ПК-2} ИД-4 _{ПК-2} ИД-5 _{ПК-2}	Самостоятельное изучение темы № 3		9,0	1,0	10
ИД-1 _{ПК-2} ИД-2 _{ПК-2} ИД-3 _{ПК-2} ИД-4 _{ПК-2} ИД-5 _{ПК-2}	Самостоятельное изучение темы №4		9,0	1,0	10
ИД-1 _{ПК-2} ИД-2 _{ПК-2} ИД-3 _{ПК-2} ИД-4 _{ПК-2} ИД-5 _{ПК-2}	Самостоятельное изучение темы №5		9,0	1,0	10
ИД-1 _{ПК-2} ИД-2 _{ПК-2} ИД-3 _{ПК-2} ИД-4 _{ПК-2} ИД-5 _{ПК-2}	Самостоятельное изучение темы №6		9,0	1,0	10
Итого			54,0	6,0	60
7 семестр					
	Самостоятельное изучение темы № 7		3,0	1,0	4,0
	Самостоятельное изучение темы		3,0	1,0	4,0

	№8				
	Самостоятельно е изучение темы №9		3,0	1,0	4,0
	Самостоятельно е изучение темы №10		3,0	1,0	4,0
	Самостоятельно е изучение темы №11		3,0	1,0	4,0
	Самостоятельно е изучение темы №12		3,0	1,0	4,0
	Самостоятельно е изучение темы №13		3,0	1,0	4,0
	Самостоятельно е изучение темы №14		3,0	1,0	4,0
	Самостоятельно е изучение темы №15		3,0	1,0	4,0
Итого за 7 семестр			27	6	36
Итого			46,8	7,2	96

Список литературы, рекомендуемый к использованию в самостоятельной работе студентов

Основная

1. Проведение научных экспериментов в нанотехнологиях : учебное пособие / А. А. Адамов, В. М. Башков, А. И. Власов [и др.] ; под. ред. В. А. Шахнова. - Москва : Издательство МГТУ им. Баумана, 2015. - 129 с. [3] с. : ил. - ISBN 978-5-7038-4141-9. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.ru/catalog/product/2076841> (дата обращения: 11.05.2026). – Режим доступа: по подписке.

2. Дзидзигури, Э. Л. Нанотехнологии. Практика : учебное пособие / Э. Л. Дзидзигури, Е. Н. Сидорова. - Москва : Лаборатория знаний, 2024. - 193 с. - (Нанотехнологии). - ISBN 978-5-93208-883-8. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.ru/catalog/product/2168014> (дата обращения: 11.05.2026). – Режим доступа: по подписке.

Дополнительная

1. Дзидзигури, Э. Л. Нанотехнологии. Вопросы исследований : учебное пособие / Э. Л. Дзидзигури, Е. Н. Сидорова. - Москва : Лаборатория

знаний, 2024. - 128 с. - (Нанотехнологии). - ISBN 978-5-93208-882-1. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.ru/catalog/product/2168011> (дата обращения: 11.05.2026). – Режим доступа: по подписке.

2. Нанотехнологии. Химические, физические, биологические и экологические аспекты : монография / М. Н. Тимофеева, В. Н. Панченко, В. В. Ларичкин [и др.]. - Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2019. - 283 с. - (Серия «Монографии НГТУ»). - ISBN 978-5-7782-3863-3. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1866282> (дата обращения: 11.05.2026). – Режим доступа: по подписке.

3. Авроров, В. А. Нанотехнологии в перерабатывающей и пищевой промышленности : учебное пособие / В. А. Авроров. - Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2023. - 188 с. - ISBN 978-5-9729-1265-0. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.ru/catalog/product/2095087> (дата обращения: 11.05.2026). – Режим доступа: по подписке.

4. Иванов, Н. Б. Нанотехнологии материалов и покрытий : учебное пособие / Н. Б. Иванов, Н. А. Покалюхин. - Казань : КНИТУ, 2019. - 236 с. - ISBN 978-5-7882-2538-8. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.ru/catalog/product/1896670> (дата обращения: 11.05.2026). – Режим доступа: по подписке.

5. Поляков, В.В. Биомедицинские нанотехнологии : учеб. пособие / В.В. Поляков ; Южный федеральный университет. - Ростов-на-Дону ; Таганрог : Издательство Южного федерального университета, 2018. - 129 с. - ISBN 978-5-9275-2864-6. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.ru/catalog/product/1039720> (дата обращения: 11.05.2026). – Режим доступа: по подписке.

6. Основы нанотехнологии : учебник / Н. Т. Кузнецов, В. А. Жабрев, В. И. Марголин. — 5-е изд. - Москва : Лаборатория знаний, 2026. - 400 с. - (Учебник для высшей школы). - ISBN 978-5-906828-26-2. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.ru/catalog/product/2239178> (дата обращения: 11.05.2026). – Режим доступа: по подписке.

Интернет – ресурсы

электронно-библиотечная система «Университетская библиотека онлайн»
<https://www.biblioclub.ru/>;

электронно-библиотечная система Znanium <https://znanium.com/site/signup>

электронная-библиотечная система IPRbooks – <http://iprbooks.ru/> ;

электронная-библиотечная система Лань – <https://e.lanbook.com/>