

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
**«ПЕРВЫЙ САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА И. П. ПАВЛОВА»**  
МИНИСТЕРСТВА ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РФ

---

**УТВЕРЖДАЮ**

Председатель Учёного Совета  
факультета послевузовского образования  
\_\_\_\_\_ К. С. Клюковкин  
Протокол № \_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 2022 г.

**ПРОГРАММА КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА ПО  
ДИСЦИПЛИНЕ «ХИМИЯ ТВЁРДОГО ТЕЛА»**

специальность 1.4.15. Химия твёрдого тела

**Санкт-Петербург**

**2022**

Программа кандидатского экзамена в аспирантуру по научной специальности 1.4.15. Химия твёрдого тела составлена кафедрой общей и биоорганической химии ФГБОУ ВО ПСПбГМУ им. И. П. Павлова Минздрава России в соответствии с федеральными государственными требованиями к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре.

Составители: д. х. н., доцент, зав. кафедрой общей и биоорганической химии К. Н. Семёнов;  
д. б. н., доцент, профессор кафедры общей и биоорганической химии В. В. Шаройко, д. х. н., профессор кафедры общей и биоорганической химии Е. А. Попова

Рабочая программа обсуждена и одобрена на заседании кафедры общей и биоорганической химии «21» сентября 2022 года, протокол № 2.

Заведующий кафедрой, д. х. н., доцент \_\_\_\_\_ К. Н. Семёнов

СОГЛАСОВАНО:

Проректор по учебной работе \_\_\_\_\_ А. И. Ярёмченко

Декан факультета послевузовского образования \_\_\_\_\_ Н. Л. Шапорова

## **1. ЦЕЛЬ КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА**

Цель кандидатского экзамена по дисциплине «Химия твёрдого тела» — оценка уровня фундаментальной подготовки по современным направлениям химического материаловедения, углублённой подготовки по выбранной научной специальности, необходимых для эффективной научной и педагогической деятельности научно-педагогических кадров высшей квалификации по специальности 1.4.15. Химия твёрдого тела.

## **2. МЕСТО ЭКЗАМЕНА В СТРУКТУРЕ**

Кандидатский экзамен «Химия твёрдого тела» является формой промежуточной аттестации при освоении обязательной дисциплины вариативной части **ООП Б1.В.ОД1** «Химия твёрдого тела».

## **3. СТРУКТУРА И ФОРМА ПРОВЕДЕНИЯ КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА**

### **3.1. Объём учебной нагрузки**

По учебному плану подготовки аспирантов трудоёмкость учебной нагрузки обучающегося при прохождении промежуточной аттестации (сдаче кандидатского экзамена) составляет 36 часов.

### **Условия допуска к сдаче кандидатского экзамена**

Для допуска к сдаче кандидатского экзамена аспирант должен сдать зачёты по дисциплине «Химия твёрдого тела».

### **3.2. Форма проведения кандидатского экзамена**

Кандидатский экзамен по специальности 1.4.15. Химия твёрдого тела состоит из двух частей: 1-я часть — основная программа, 2-я часть — по дополнительной программе.

1-я часть экзамена проводится в форме беседы по вопросам билета, которые включают:

1. Вопрос из общей части программы.
2. Вопрос из специальной части программы.
3. Вопрос из специальной части программы.

2-я часть кандидатского экзамена по специальности 1.4.15. Химия твёрдого тела проводится в форме беседы по дополнительной программе (два вопроса) и теме кандидатской диссертации.

## **4. СОДЕРЖАНИЕ КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА**

### **4.1. ОСНОВНАЯ ПРОГРАММА**

#### ***Раздел 1. Общая часть***

## **Общие положения**

1. Специфика химии твёрдого состояния как раздела химической науки. Общие отличия строения и свойств твёрдых веществ от газов и жидкостей. Классификация твёрдых веществ.
2. Кристаллические твёрдые тела. Монокристаллическое, поликристаллическое и нанокристаллическое состояния твёрдых веществ. Однофазные и гетерофазные кристаллические тела.
3. Аморфные твёрдые вещества. Стекла. Некристаллические наночастицы. Микро и мезопористые твёрдые тела. Жидкие кристаллы. Значение химии твёрдого состояния для материаловедения и химической технологии.

## **Строение твёрдых веществ**

1. Строение кристаллических твёрдых веществ. Понятие о симметрии кристаллической решётки. Кристаллографические пространственные группы симметрии. Выбор и типы элементарных ячеек.
2. Молекулярные кристаллы. Кристаллы с ионными и ковалентными решётками. Правила Полинга. Металлы и сплавы. Интерметаллические соединения. Кристаллы с участием водородных и ван-дер-ваальсовых связей.
3. Супрамолекулярные образования. Координационные числа.
4. Способы организации структур. Структуры с гексагональной и кубической плотнейшими упаковками. Тетрагональная упаковка. Дефекты упаковок, политипизм. Полиэдрическое описание кристаллических структур. Изоморфизм, изоморфная ёмкость.
5. Некоторые наиболее распространённые структурные типы. Структуры каменной соли (NaCl) и хлорида цезия (CsCl) ГЦК и ОЦК, сфалерита и вюрцита (ZnS), флюорита (CaF<sub>2</sub>) и антифлюорита (Na<sub>2</sub>O). Структурные типы арсенида никеля (NiAs), иодида кадмия (CdI<sub>2</sub>) и рутила (TiO<sub>2</sub>). Структурные типы перовскита (CaTiO<sub>3</sub>) и шпинели (MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>).
6. Соединения со слоистой структурой. Общие сведения о структурах силикатов и алюмосиликатов. Соединения внедрения и клатраты. Органические кристаллические структуры.
7. Твёрдые растворы замещения, внедрения и вычитания. Изовалентное и гетеровалентное замещение. Нестехиометричные соединения.
8. Структура аморфных твёрдых тел. Функция радиального распределения. Нерегулярные плотнейшие упаковки. Описание аморфных структур в полиэдрах. Кластерная модель. Стеклообразное состояние вещества. Факторы, влияющие на стеклообразование. Кинетическая природа стеклообразования. Ближний порядок.

Структурные единицы. Топология сочленения структурных единиц на примере кварцевого стекла.

9. Структура квазикристаллов. Несоразмерные структуры. Структура жидких кристаллов.

### **Химическая связь и электронное строение твёрдых веществ**

1. Типы химической связи в твёрдом теле. Ван-дер-ваальсово взаимодействие в молекулярных кристаллах, клатраты. Ионная модель строения кристаллов, константа Моделунга, энергия ионной решётки. Цикл Борна-Габера и термохимические расчёты.

2. Основы теорий кристаллического поля и поля лигандов применительно к твёрдым телам. Влияние d-электронов. Энергия стабилизации кристаллическим полем и катионное распределение. Эффект Яна-Теллера. Сравнение тетраэдрического и октаэдрического окружений. Эффект неподелённых электронных пар.

3. Зонная структура кристаллов. Образование зон в результате перекрывания орбиталей. Уровень Ферми. Химический потенциал. Заселённость зон, её влияние на электрофизические свойства кристаллов. Валентная зона, запрещённая зона, зона проводимости.

4. Металлы и диэлектрики. Собственные и примесные полупроводники. Электронная и дырочная проводимость. Общие представления о методах расчёта зонной структуры кристаллов. Границы применимости зонной модели.

5. Цепочечные структуры и одномерная проводимость. Двумерные проводники и интеркаляты. Пайерлсовское искажение.

6. Слабые невалентные взаимодействия в твёрдых супрамолекулярных образованиях. Наноструктуры, объёмные кластеры.

### **Реальная структура кристаллов**

1. Совершенные и несовершенные кристаллы. Типы дефектов. Электронные дефекты. Собственные точечные дефекты. Термодинамические причины образования точечных дефектов. Дефектообразование и нестехиометрия кристаллов. Дефекты по Шоттки и Френкелю.

2. Примесные точечные дефекты. Нейтральные и заряженные точечные дефекты. Квазихимическая модель описания равновесия точечных дефектов. Взаимодействие точечных дефектов. Ассоциаты дефектов. Центры окраски. Взаимосвязь концентрации примесей и собственных точечных дефектов. Влияние точечных дефектов на свойства неорганических веществ.

3. Методы создания неравновесных концентраций точечных дефектов: закалка, механическое и радиационное воздействие.

4. Подвижность точечных дефектов. Диффузия и самодиффузия в твёрдых телах. Основные механизмы самодиффузии. Коэффициент диффузии, энергия активации диффузии. Диффузия, обусловленная градиентом концентраций, законы Фика.
5. Диффузия точечных дефектов в электрическом поле. Уравнение Нернста-Эйнштейна. Методы исследования диффузии. Ионная проводимость. Подвижность, числа переноса.
6. Температурная зависимость ионной проводимости. Собственная и примесная проводимость. Суперионные проводники (твёрдые электролиты).
7. Твёрдые тела со структурной разупорядоченностью. Протяжённые дефекты. Структуры кристаллографического сдвига. Дефекты упаковки. Границы блоков и антифазные домены (границы). Гетерогенные включения. Нейтральные и заряженные протяжённые дефекты.
8. Дислокации в кристаллах, основные виды. Причины возникновения дислокаций. Движение дислокаций. Влияние дислокаций на свойства кристаллов. Экспериментальные методы исследования дислокаций.
9. Поверхность как дефект строения твёрдого тела. Поверхностная энергия кристалла. Искажение структуры и электронного строения в приповерхностных слоях. Роль поверхности в химических реакциях твёрдых тел. Роль соотношения объем-поверхность в свойствах твёрдых тел. Общие особенности химии твёрдых наноразмерных частиц. Экспериментальные методы изучения поверхности.

## **Раздел 2. Специальная часть**

### **Фазовые переходы в твёрдых веществах**

1. Термодинамическая классификация фазовых переходов. Стабильные и метастабильные фазы. Представление фазовых переходов на диаграммах состояния.
2. Структурные изменения при фазовых переходах. Изменения структуры с ростом температуры и давления. Мартенситные превращения. Механизмы фазовых переходов. Кинетика фазовых переходов.
3. Скорость зародышеобразования. Общая скорость превращения, уравнение Аврами. Факторы, влияющие на кинетику фазовых переходов. Мартенситные превращения.
4. Переходы типа порядок-беспорядок. Несоразмерные фазы. Жидкокристаллическое состояние. Некристаллическое состояние и фазовые переходы в стёклах.

### **Химические реакции твёрдых веществ**

1. Термодинамические оценки возможности прохождения химических реакций с участием твёрдых тел. Общие закономерности скорости гетерогенных химических процессов с участием твёрдых тел. Элементарные кинетические стадии процессов. Роль

массопереноса. Процессы, лимитируемые диффузионными и кинетическими стадиями. Роль зародышеобразования в процессах, сопровождающихся образованием твёрдых продуктов. Термодинамика формирования новой фазы. Критическое пересыщение, критический размер зародыша. Кинетика образования и роста зародышей.

2. Классификация химических гетерогенных процессов с участием твёрдых фаз. Термическое разложение твёрдых фаз с образованием продуктов в различных фазовых состояниях. Распад твёрдых растворов по спинодальному механизму и механизму роста зародышей. Реакции твёрдая фаза — твёрдая фаза, твёрдая фаза — газ, твёрдая фаза — жидкость. Примеры. Кинетические особенности процессов в каждом случае.

3. Основные факторы, влияющие на реакционную способность твёрдых тел. Роль примесей и дефектов. Химические реакции на поверхности. Методы управления развитием процессов с участием твёрдых тел. Нетермические способы повышения реакционной способности твёрдых тел: фотохимические, радиационно-химические, механические и др.

### **Методы синтеза твёрдых веществ**

1. Термодинамические основы синтеза твёрдых веществ.  $P$ – $T$ – $x$  фазовые диаграммы двухкомпонентных систем как геометрическое представление термодинамических данных. Правило фаз Гиббса. Работа с проекциями и сечениями  $P$ – $T$ – $x$  диаграмм. Основные типы конденсированных фазовых диаграмм двухкомпонентных систем: с простой эвтектикой, с образованием конгруэнтно и инконгруэнтно плавящихся промежуточных соединений, с расслаиванием в жидкой фазе, с неограниченными и ограниченными твёрдыми растворами, с полиморфизмом компонентов и соединений. Конденсированные диаграммы трёхкомпонентных систем. Фазовые равновесия в субсолидусной области. Использование фазовых диаграмм для выбора условий синтеза.

2. Синтез путём твердофазных реакций. Основные термодинамические и кинетические закономерности. Экспериментальное осуществление, роль температуры. Методы интенсификации твердофазных процессов: диспергирование исходных веществ, методы химической гомогенизации. Совместное соосаждение компонентов из растворов. Криохимический синтез и распылительная сушка. Кристаллизация из гелей. Золь-гель процесс. Механохимическое стимулирование твердофазных процессов. Основные закономерности и возможности механохимических процессов. Саморазвивающийся высокотемпературный синтез. Твердофазный синтез при высоких давлениях.

3. Кристаллизация из растворов и расплавов. Использование фазовых диаграмм. Кривые растворимости. Основные кинетические закономерности. Особенности зародышеобразования. Возможность образования метастабильных фаз. Политермические и

изотермические процессы синтеза. Экспериментальное оформление. Методы электрохимического синтеза.

4. Кристаллизация из паровой фазы. Основные термодинамические и кинетические закономерности. Процессы сублимации-конденсации. Управление составом внутри области гомогенности отжигом в паре компонентов. Синтез и очистка веществ с помощью химических транспортных реакций в паровой фазе. Теоретические основы, основные закономерности и возможности.

5. Гидротермальные методы синтеза твёрдых веществ. Применение различных физических (ультразвукового, микроволнового и др.) воздействий при синтезе твердофазных веществ.

6. Выращивание монокристаллов. Общие кинетические особенности. Механизмы роста кристаллов. Выращивание из расплавов и растворов. Методы Чохральского, Степанова, Бриджмена-Стокбаргера. Зонная плавка. Рост из «раствора в расплаве». Выращивание из газовой фазы. Газоплазменный метод Вернейля.

7. Получение твёрдых веществ в виде тонких слоёв и плёнок. Поликристаллические и эпитаксиальные плёнки. Физические методы: лазерная абляция, магнетронное распыление, электронно-лучевое испарение. Химическое осаждение из паровой фазы, использование гидридов, галогенидов, металлоорганических соединений. Метод молекулярного наслаивания. Получение плёнок из растворов и расплавов. Жидкофазная эпитаксия. Электрохимическая кристаллизация плёнок и покрытий.

8. Керамика. Основные закономерности и способы спекания. Способы получения твёрдых аморфных веществ и стёкол. Методы получения твёрдых фаз в наноразмерном состоянии.

### **Методы исследования твёрдых веществ**

1. Методы изучения кристаллического строения твёрдых тел. Дифракция рентгеновских лучей. Закон Брэгга, расчёт межплоскостных расстояний. Метод порошка, научные основы и применение. Метод Гинье. Индицирование рентгенограмм. Идентификация веществ по рентгенограммам, рентгенофазовый анализ.

2. Общие представления о структурном анализе по порошковым данным. Метод Ритвельда. Рентгенографическое исследование монокристаллов, общие представления о ходе структурного анализа. Получение структурных данных с помощью электронной и нейтронной дифракции. Особенности и возможности методов.

3. Другие методы изучения строения твёрдых веществ. Кристаллооптический анализ. Электронная микроскопия: принципы и возможности сканирующей электронной

микроскопии, туннельной электронной микроскопии, электронной микроскопии высокого разрешения.

4. Спектральные методы: колебательная спектроскопия, ИК- и КР- спектры; спектроскопия видимого излучения и УФ-спектроскопия; спектроскопия ядерного магнитного резонанса (ЯМР), ядерного квадрупольного резонанса (ЯКР) и электронного парамагнитного резонанса (ЭПР); ядерная гамма-резонансная (мёссбауэровская) спектроскопия (ЯГРС).

5. Методы определения химического состава. Химический элементный анализ. Рентгенофлуоресцентный анализ. Локальный рентгеноспектральный анализ, масс-спектрометрические методы, атомно-эмисионная спектроскопия.

6. Методы исследования поверхности. Оже-электронная спектроскопия, РФЭС, обратное резерфордское рассеяние. Методы исследования ближнего окружения атомов. Рентгеновская абсорбционная спектроскопия (EXAFS, XANES).

7. Исследования термических свойств веществ. Термогравиметрический анализ. Дифференциально-термический анализ и дифференциальная сканирующая калориметрия.

8. Методы исследования электрических и магнитных свойств.

### **Твердофазные материалы**

1. Классификация твердофазных материалов по функциональным свойствам.

2. Ионная проводимость и твёрдые электролиты (ТЭЛ). Суперионные проводники. Катионные проводники. Кислород-ионные проводники. Галогенид-ионные проводники. Применение твёрдых электролитов (источники тока, топливные элементы, химические сенсоры).

3. Полупроводники. Классификация полупроводниковых материалов. Элементарные полупроводники, германий и кремний. Полупроводниковые соединения A<sub>3</sub>B<sub>5</sub> и A<sub>2</sub>B<sub>6</sub>. Кристаллохимические особенности. Арсенид галлия. Нитрид галлия. Химические основы легирования полупроводников. Гетероструктуры и сверхрешётки. Основные области применения полупроводников.

4. Диэлектрики. Химическая и физическая природа диэлектриков. Наведённая и спонтанная поляризация. Сегнетоэлектрики, пиро- и пьезоэлектрики. Примеры. Области применения сегнетоэлектриков, пиро- и пьезоэлектриков.

5. Магнитные материалы. Функциональные параметры. Классификация магнитных материалов, основные структуры и свойства (металлы и сплавы, оксиды переходных металлов, шпинели, гранаты, перовскиты, гексаферриты). Области применения, взаимосвязь структуры и свойств. Материалы с эффектом гигантского (ГМС) и колоссального (КМС) магнитного сопротивления.

6. Оптические материалы. Люминесцентные материалы и люминофоры. Фосфоресцирующие материалы.
7. Твердотельные источники лазерного излучения (рубиновый и неодимовый лазеры). Нелинейные оптические материалы. Основные области применения.
8. Сверхпроводящие материалы. Традиционные (металлы и интерметаллиды) и высокотемпературные (оксиды) сверхпроводники (ВТСП). Взаимосвязь состав-структура-свойство для высокотемпературных сверхпроводников на основе купратов. Области и перспективы применения.
9. Тугоплавкие материалы. Металлы и сплавы, оксиды, карбиды, бориды, нитриды, силициды. Композиционные материалы, их классификация и методология создания. Металлсодержащие композиционные материалы.
10. Аморфные материалы и стекла. Факторы, влияющие на стеклообразование. Оксидные, фторидные и халькогенидные стекла. Электропроводящие стекла. Металлические стекла. Стеклокерамика. Ситаллы. Различные области применения стёкол. Жидкие кристаллы.
11. Органические функциональные материалы. Основные типы и области применения. Биоматериалы.

**Образец билета для сдачи вступительного экзамена (1 часть)**

|  |                                  |
|--|----------------------------------|
| федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет имени академика И. П. Павлова» Министерства здравоохранения РФ<br><b>Кафедра общей и биорганической химии</b> |                                  |
| Вступительный экзамен (аспирантура)  | Дисциплина «Химия твёрдого тела» |
| Экзаменационный билет № 1  |                                  |
| 1. Кристаллические твёрдые тела. Монокристаллическое, поликристаллическое и нанокристаллическое состояния твёрдых веществ. Однофазные и гетерофазные кристаллические тела.   |                                  |
| 2. Термодинамическая классификация фазовых переходов. Стабильные и метастабильные фазы. Представление фазовых переходов на диаграммах состояния. Структурные изменения при фазовых переходах. Кинетика фазовых переходов.  |                                  |
| 3. Электронная микроскопия: принципы и возможности сканирующей электронной микроскопии, туннельной электронной микроскопии, электронной микроскопии высокого разрешения.   |                                  |
| Утверждено на заседании кафедры общей и биорганической химии   |                                  |

#### 4.2. ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ПРОГРАММА

##### ***Углеродные наноструктуры: синтез, выделение и свойства.***

Общая классификация наноструктур. Классификация углеродных наноструктур и их производных.

Классификация фуллеренов. Физико-химические свойства фуллеренов. Общий обзор реакционной способности фуллеренов (реакции нуклеофильного присоединения, радикального присоединения, циклоприсоединения, синтез полиаддуктов). Основные технологии синтеза лёгких и высших фуллеренов. Методы выделения, разделения и очистки фуллеренов. Сорбенты для разделения фуллеренов. Неподвижные фазы для разделения фуллеренов. Сорбенты с привитыми группами. Методы синтеза минерально-углеродных сорбентов на основе кремнезёма для разделения фуллеренов. Неподвижные фазы с переносом заряда. Хиральные сорбенты для разделения фуллеренов. Хроматографические свойства минерально-углеродных сорбентов в процессе разделения смеси фуллеренов  $C_{60}$  и  $C_{70}$ . Методы физико-химического анализа, применяемые для идентификации фуллеренов. Основные фуллереновые продукты. Области применения фуллеренов и их производных. Классификация производных фуллеренов. Эндо- и экзофуллерены. Основные технологии синтеза производных фуллеренов. Методы выделения, разделения и очистки производных фуллеренов. Методы физико-химического анализа, применяемые для идентификации производных фуллеренов.

Классификация углеродных нанотрубок: SWNT, MWNT. Физико-химические свойства нанотрубок. Основные технологии синтеза углеродных нанотрубок. Методы выделения, разделения и очистки углеродных нанотрубок. Химические методы очистки: окисление в газовых и жидких средах и кислотная обработка. Физические и комбинированные методы и процессы очистки: ультразвуковая обработка, фильтрация, микрофильтрация и хроматография, микроволновое излучение, оптическое (ультрафиолетовое) излучение, плазменные процессы, электрофорез и диэлектрофорез, центрифугирование, магнитная сепарация, высокотемпературная обработка в вакууме. Методы физико-химического анализа, применяемые для идентификации углеродных нанотрубок. Области применения углеродных нанотрубок. Некоторые производные нанотрубок. Основные методы функционализации углеродных нанотрубок (ковалентная и нековалентная функционализация поверхности).

Основные технологии синтеза графенов. Физико-химические свойства графена. Методы выделения, разделения и очистки графенов. Способы очистки графенов, полученных

методами: механического отщепления слоёв графена от высокоориентированного пиролитического графита, выращивания на подложке CVD-методом, методом органического синтеза, химическим методом с использованием коллоидных дисперсий на основе соединений, содержащих графеновые слои. Методы физико-химического анализа, применяемые для идентификации графенов. Области применения графенов. Некоторые производные графенов. Основные методы функционализации графена (ковалентная и нековалентная функционализация поверхности).

Технология получения детонационных наноалмазов. Методы исследования и модель наночастицы алмаза детонационного синтеза. Электроповерхностные свойства наночастиц алмаза в водных растворах электролитов. Оптические и реологические свойства суспензий алмазных наночастиц. Спектроскопия комбинационного рассеяния и фотолюминесценции в детонационных наноалмазах. Исследование детонационных наноалмазов методами электронного парамагнитного и ядерного магнитного резонанса. Применение детонационных наноалмазов.

Сопутствующие (неосновные) углеродные наноструктуры: нанобаррели, нанолуковицы, нанобусины, наноконусы. Методы выделения, разделения и очистки сопутствующих углеродных наноструктур. Методы физико-химического анализа, применяемые для идентификации сопутствующих углеродных наноструктур.

#### ***Композиты на основе углеродных наноструктур.***

Механические свойства углеродных наноматериалов. Физические свойства композитов. Упругие и прочностные свойства. Адгезия и смачивание в композитах. Проблемы и перспективы применения углеродных наночастиц для создания композиционных материалов.

Композиты на основе полимерной матрицы: состав и основные свойства. Матрицы для полимерных композиционных материалов (ПКМ). Свойства армирующих волокон для ПКМ. Поверхность раздела фаз в ПКМ. Методы получения полимерных композитов. Полимерные нанокомпозиты с углеродными нанотрубками и наноалмазами. Фуллерены и их производные как нанодобавки для полимерных композитов. Области применения полимерных композиционных наноматериалов с углеродными наночастицами.

Композиционные материалы на основе керамики и металлических матриц. Основные свойства, методы получения и области их применения. Механизмы упрочнения. Композиты на основе керамики и наноуглеродных материалов. Композиты металл-наноуглеродный материал.

Углерод-углеродные композиционные материалы. Основные свойства, методы получения и области применения. Гибридные наноуглеродные материалы — путь для создания

принципиально новых композитов с «рекордными» функциональными характеристиками. Перспективные области применения гибридных наноуглеродных материалов.

### ***Наночастицы в медицине.***

Наночастицы: классификация, свойства и поведение в биологических системах. Наномедицинские носители. Липосомы, мицеллы, полимерные наночастицы, наночастицы на основе белков, дендримеры, неорганические наночастицы, наноструктуры углерода (фуллерены, углеродные нанотрубки, нанохорны, наноалмазы), кремний, квантовые точки, феррофлюиды, золото и серебро. Применение наномедицинских препаратов Системы доставки, наноразмерные лекарственные вещества, системы диагностики *in vivo*, контрастирующие препараты, полимодальные контрасты, мониторинг *in vivo*, системы диагностики *in vitro*, биосенсоры. Химиотерапевтические препараты, созданные с применением нанотехнологических подходов.

Методы исследования биосовместимости наноматериалов: гемосовместимость, связывание с транспортными белками крови и ДНК, методы изучения антиоксидантной активности, цито- и генотоксичности.

## **5. КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ РЕЗУЛЬТАТОВ КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА**

Уровень знаний оценивается экзаменационной комиссией по пятибалльной системе. Ответ оценивается на «**отлично**», если аспирант (соискатель) даёт полные, исчерпывающие и аргументированные ответы на все основные и дополнительные экзаменационные вопросы; демонстрирует знание источников (нормативно-правовых актов, литературы, понятийного аппарата) и умение ими пользоваться при ответе; ответы отличаются логической последовательностью, чёткостью в выражении мыслей и обоснованностью выводов.

Ответ оценивается на «**хорошо**», если аспирант (соискатель) даёт полные, исчерпывающие и аргументированные ответы на все основные и дополнительные экзаменационные вопросы; ответы отличаются логичностью, чёткостью, знанием понятийного аппарата и литературы по теме вопроса при незначительных упущениях при ответах.

Ответ оценивается на «**удовлетворительно**», если аспирант (соискатель) даёт неполные и слабо аргументированные ответы на вопросы, демонстрирующие общее представление и элементарное понимание существа поставленных вопросов, понятийного аппарата и обязательной литературы.

Ответ оценивается «**неудовлетворительно**» при незнании и непонимании аспирантом (соискателем) существа экзаменационных вопросов.

## **6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ**

## ДИСЦИПЛИНЫ

1. Иванов-Шиц А. К., Мурин И. В. Ионика твёрдого тела: Т.1, СПб.: Изд-во С. Петерб. Унта, 2000.
2. Иванов-Шиц А. К., Мурин И. В. Ионика твёрдого тела: Т.2, СПб.: Изд-во С. Петерб. Унта, 2010.
3. Егоров-Тисменко Ю. К.; под ред. академика В. С. Урусова. Кристаллография и кристаллохимия. М.: КДУ, 2005.
4. Вуль А. Я., Шендерова О. А. Детонационные наноалмазы. Технология, структура, свойства и применения. СПб.: ФТИ им. А.Ф.Иоффе, 2016.
5. Бокштейн Б. С., Ярославцев А. Б. Диффузия атомов и ионов в твёрдых телах. М.: МИСИС, 2005.
6. Болдырева Е. В. Описание симметрии кристаллических структур. Изд-во НГУ, 1995.
7. Витайкин Б. Е. Физика твёрдого тела. Учебное пособие. 2-е изд., стер. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008.
8. Григорьева Т. Ф., Барина А. П., Ляхов Н. З. Механохимический синтез в металлических системах. Новосибирск: Параллель. 2008
9. Гусев А. И. Нестехиометрия, беспорядок, ближний и дальний порядок в твёрдом теле. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007.
10. Cataldo F., Milani P., Da Ros T. (eds.) Medicinal Chemistry and Pharmacological Potential of Fullerenes and Carbon Nanotubes, Vol. 01, 2008.
11. Пиотровский Л. Б. Очерки о наномедицине. СПб.: Издательство «Европейский Дом», 2013.
12. Кнотько А. В. Химия твёрдого тела. Учебное пособие для студ. высш. учеб. заведений. М.: Издательский центр «Академия», 2006.
13. Князева А. Г. Термодинамика фазовых переходов в простых и сложных средах (учебное пособие). Томск: Изд-во НТЛ, 2001.
14. Полубояров В. А., Андрюшкова О. В., Паули И. А., Коротаяева З. А. Механохимия создания материалов с заданными свойствами (учебное пособие). Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2007.
15. Русанов А. И. Термодинамические основы механохимии. СПб.: Наука, 2006.
16. Скрипов В. П., Файзуллин М. З. Фазовые переходы кристалл – жидкость – пар и термодинамическое подобие. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003.
17. Третьяков Ю. Д. Твердофазные реакции. «Химия», 1978
18. Уваров Н. Ф. Композиционные твёрдые электролиты. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2008.

19. Физические методы исследования неорганических веществ. Учебное пособие для студ. высш. учеб. заведений. Т. Г. Баличева и др. Под ред. А. Б. Никольского. М.: Издательский центр «Академия», 2006.
20. K. N. Semenov, N. A. Charykov, V. N. Postnov, V. V. Sharoyko, I. V. Vorotyntsev, M. M. Galagudza, I. V. Murin. Fullerenols: Physicochemical properties and applications // *Progress in Solid State Chemistry*. 2016. V. 44 (2). P. 59–74.
21. K. N. Semenov, E. V. Andrusenko, N. A. Charykov, E. V. Litasova, G. G. Panova, A. V. Penkova, I. V. Murin, L. B. Piotrovskiy. Carboxylated fullerenes: Physico-chemical properties and potential applications // *Progress in Solid State Chemistry*. 2017. V. 47–48. P. 19–36.
22. E. I. Pochkaeva, N. E. Podolskiy, D. N. Zakusilo, A. V. Petrov, G. G. Panova, K. N. Semenov, N. A. Charykov, T. D. Vlasov, A. V. Penkova, V. V. Sharoyko, I. V. Murin. Fullerene derivatives with amino acids, peptides and proteins: from synthesis to biomedical application // *Progress in Solid State Chemistry*. 2020. V. 57, P. 100255.
23. V. V. Sharoyko, S. V. Ageev, N. E. Podolsky, A. V. Petrov, E. V. Litasova, T. D. Vlasov, L. V. Vasina, I. V. Murin, L. B. Piotrovskiy, K. N. Semenov. Biologically active water-soluble fullerene adducts: Das Glasperlenspiel (by H. Hesse)? // *Journal of Molecular Liquids*. 2021, V. 323, P. 114990.