

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования



**Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет**

**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор по образовательной  
деятельности

 А.Б. Петроченков

« 09 » октября 20 23 г.

### **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Дисциплина:** Физико-химические процессы получения и свойства наноматериалов  
(наименование)

**Форма обучения:** очная  
(очная/очно-заочная/заочная)

**Уровень высшего образования:** бакалавриат  
(бакалавриат/специалитет/магистратура)

**Общая трудоёмкость:** 360 (10)  
(часы (ЗЕ))

**Направление подготовки:** 22.03.01 Материаловедение и технологии материалов  
(код и наименование направления)

**Направленность:** Материаловедение и технологии материалов (общий профиль, СУОС)  
(наименование образовательной программы)

## 1. Общие положения

### 1.1. Цели и задачи дисциплины

Цель - ознакомление с физико-химическими особенностями строения и свойств наночастиц и наноматериалов, физико-химическими основами получения наночастиц, процессами формирования наноструктур и наноматериалов; формирование представления о процессах самоорганизации и нанотехнологии, главных направлениях современного и будущего применения наноматериалов.

Задачи:

1. Изучение особенностей структуры нанообъектов и наноструктурированных систем, их физико-механических, биологических и химических свойств, закономерностей, связывающих размерный фактор и свойства наночастиц и наноматериалов;
2. Изучение основ химических, физических и биологических методов синтеза наночастиц и наноматериалов, процессов нанотехнологий, применяемых в современном производстве;
3. Уметь интерпретировать результаты, полученные в результате изучения наночастиц, наноматериалов и других нанообъектов с учетом современного представления наук о материалах;
4. Уметь анализировать научно-техническую информацию и изучать отечественный и зарубежный опыт по получению наноматериалов
5. Владеть практическими навыками синтеза наночастиц в жидких средах и получения наноматериалов;
6. Владеть навыками проведения исследования наночастиц, наноматериалов и других нанообъектов с учетом размерного фактора.

### 1.2. Изучаемые объекты дисциплины

-Наночастицы металлов и неметаллов, нанокристаллические материалы, пленки и покрытия, фуллерены, нанотрубки, супрамолекулярные ансамбли и устройства;  
-Размерные эффекты, структура, свойства нанообъектов и наноструктурированных систем;  
-Физико-химические процессы получения наночастиц металлов и их соединений и других нанообъектов, гетерогенные процессы формирования наноструктур и наноматериалов.

### 1.3. Входные требования

Не предусмотрены

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
-------------	-------------------	-----------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------	-----------------

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
ПК-1.6	ИД-1ПК-1.6	Знает основные физико-химические особенности строения, структуры и свойств наночастиц, наноматериалов, углеродных нанотрубок, фуллеренов и других нанообъектов; Знает современное состояние научных исследований и разработок в области наноматериалов.	Знает основные физико-химические особенности строения, структуры и свойств наноматериалов и материалов нового поколения; современное состояние научных исследований и разработок в области наноматериалов и материалов нового поколения	Экзамен
ПК-1.6	ИД-2ПК-1.6	Умеет использовать современные представления о влиянии наномасштаба на свойства материалов при анализе полученных результатов. Умеет выполнять экспериментальные исследования нанообъектов.	Умеет использовать современные представления о влиянии микро- и наноструктуры на свойства материалов при анализе полученных результатов при изучении их взаимодействия с окружающей средой, полями и излучениями	Защита лабораторной работы
ПК-1.6	ИД-3ПК-1.6	Владеет навыками проведения исследований структуры и свойств наночастиц, наноматериалов и интерпретации результатов.	Владеет навыками прогноза свойств материалов на основе анализа изменения структурных и фазовых характеристик в процессе их обработки, модификации и эксплуатации	Защита лабораторной работы
ПК-2.4	ИД-1ПК-2.4	Знает физико-химические основы и основные методы получения наночастиц и наноматериалов; Знает методы получения консолидированных наноматериалов; Знает основные методы нанолитографии и процессы самоорганизации, протекающие при синтезе наноматериалов.	Знает физико-химические основы и методы получения порошковых, композиционных и наноматериалов и способов высокоэнергетической обработки материалов и изделий из них	Дифференцированный зачет
ПК-2.4	ИД-2ПК-2.4	Умеет использовать знания об основных видах современных наноматериалов при выборе технологии их	Умеет подбирать технологические параметры процессов производства порошковых,	Курсовая работа

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
		получения; Умеет выполнять поиск научно-технической информации по методам получения наночастиц, процессам формирования наноструктур и наноматериалов.	композиционных материалов и наноматериалов и высокоэнергетической обработки материалов и изделий из них	
ПК-2.4	ИД-3ПК-2.4	Владеет навыками синтеза наночастиц в жидких средах и получения наноматериалов. Владеет навыками анализа полученных результатов и определения оптимальных параметров процесса производства наноматериалов.	Владеет навыками определения характеристик и подбора регулируемых параметров технологического процесса; анализа полученных результатов и определение оптимальных параметров процесса производства	Защита лабораторной работы

### 3. Объем и виды учебной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах	
		Номер семестра	
		6	7
1. Проведение учебных занятий (включая проведение текущего контроля успеваемости) в форме:	135	63	72
1.1. Контактная аудиторная работа, из них:			
- лекции (Л)	59	27	32
- лабораторные работы (ЛР)	34	16	18
- практические занятия, семинары и (или) другие виды занятий семинарского типа (ПЗ)	34	16	18
- контроль самостоятельной работы (КСР)	8	4	4
- контрольная работа			
1.2. Самостоятельная работа студентов (СРС)	189	81	108
2. Промежуточная аттестация			
Экзамен	36		36
Дифференцированный зачет	9	9	
Зачет			
Курсовой проект (КП)			
Курсовая работа (КР)	18		18
Общая трудоемкость дисциплины	360	144	216

#### 4. Содержание дисциплины

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
6-й семестр				
Наночастицы, наноструктуры и наноматериалы.	3	0	0	2
Классификация нанообъектов. Нанообъекты в твердом веществе, в жидкостях и газах. Металлические и молекулярные кластеры. Супрамолекулярные структуры. Коллоидные кластеры и наноструктуры. Нанокристаллы. Тонкие пленки. Углеродные наноматериалы. Нанокompозитные материалы. Биологические наноматериалы.				
Общая характеристика наносостояния.	4	8	2	20
Принципы структурной организации нанообъектов. Основные особенности наноструктур. Границы раздела фаз. Структура поверхности и межфазных границ. Роль межфазных границ в формировании свойств наноматериалов. Микроструктура компактных нанокристаллических материалов. Особенности структуры субмикроструктурных металлов. Наноструктура неупорядоченных систем. Особенности проявления размерных эффектов в наносистемах. Физические причины специфики наноматериалов. Общая характеристика. Размерные эффекты квантовых наноструктур. Равновесие в наносистемах.				
Физико-химические свойства кластеров и наночастиц	6	8	4	20
Электронное строение. Атомные и молекулярные орбитали. Электронные состояния для трехмерных, двумерных, одномерных и нульмерных структур. Магические числа. Модель желе. Структурные и фазовые превращения. Период решетки. Фононный спектр, температура плавления и теплоемкость. Магнитные свойства наночастиц. Суперпарамагнетизм. Оптические свойства металлических и полупроводниковых наночастиц. Плазмонный резонанс. Реакционная способность наночастиц. Биологические свойства наночастиц.				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
Свойства углеродных наноструктур	6	0	2	8
Физические свойства фуллеренов. Химия фуллеренов. Физические свойства фуллерита. Эндоздральные комплексы. Наноалмазы. Одностенные и многостенные нанотрубки. Физические и химические свойства УНТ Свойства неорганических нанотрубок и нанопроволок. Графен и его свойства.				
Физико-химические свойств, наноматериалов и нанообъектов	4	0	2	11
Свойства супрамолекулярных ансамблей и устройств. Свойства тонких пленок и поверхностных слоев. Фотонные кристаллы. Размерность фотонных кристаллов. Фотонные запрещенные зоны. Основы теории фотонных кристаллов. Материалы для фотонных кристаллов.				
Области применения наноматериалов.	4	0	6	20
Сложившиеся и перспективные области применения наноматериалов в различных отраслях промышленности. Конструкционные и инструментальные наноматериалы. Наноматериалы триботехнического назначения. Функциональные наноматериалы. Медицинские и биологические наноматериалы.				
ИТОГО по 6-му семестру	27	16	16	81
7-й семестр				
Общая характеристика процессов получения наночастиц.	1	0	2	4
Общие подходы, характерные для методов получения наночастиц. Классификация методов получения наноразмерных частиц (nanoparticles): методы «снизу-вверх» (bottom-up) и методы «сверху-вниз» (top-down), физические и химические методы, биологические методы.				
Методы получения наночастиц, основанные на физических процессах.	3	0	4	10
Методы испарения-конденсации (газофазный синтез) : левитационно-струйный метод; электрический взрыв проводников; лазерная абляция. Диспергационные методы: механическое измельчение (механосинтез); ультразвуковое диспергирование; распыление расплава.				
Методы получения наночастиц, основанные на химических процессах.	4	14	4	20
Химическое осаждение из паровой фазы. Детонационный синтез. Плазмохимический синтез. Методы химического осаждения (соосаждения). Осаждение из коллоидных растворов (золь-гель). Гидротермальный метод. Микроэмульсионный				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
метод. Криохимический метод. Термическое разложение (пиролиз). Радиационное разложение соединений. Восстановительные процессы: метод восстановления соединений металлов, метод жидкофазного восстановления, фото- и радиационно-химическое восстановление. Электрохимические методы. Биологические методы синтеза.				
Методы синтеза фуллеренов, углеродных нанотрубок и графена.	4	4	0	10
Классификация углеродных материалов. Строение и номенклатура фуллеренов. Возгонка и десублимация графита в электрической дуге. Лазерное испарение графитовой мишени. Пиролиз углеводородов. Синтез фуллереновых производных. Методы очистки и детектирования. Механизм образования фуллеренов. Строение нанотрубок. Термическое распыление в дуговом разряде. Метод лазерной абляции. Термическое разложение (диспропорционирование) СО. Пиролиз углеводородов. Механизмы образования УНТ. Методы синтеза графена.				
Процессы получения фуллереноподобных наноструктур, неорганических нанотрубок и формирования одномерных наноструктур.	2	0	0	8
Получение фуллереноподобных и неорганических нанотрубок из прекурсоров со слоистой структурой. Темплатный синтез нанотрубок. Формирование нанотрубок с использованием принципа структурного несоответствия. Классификация одномерных наноструктур: нанонити, наностержни, наноленты. Методы формирования одномерных наноструктур.				
Методы получения нанопористых материалов и супрамолекулярных ансамблей.	4	0	4	10
Строение нанопористых материалов. Природные и синтетические нанопористые материалы. Цеолиты как пример природных нанопористых структур. Методы получения нанопористых материалов. Темплатный синтез. Основные понятия и термины супрамолекулярной химии. Природа супрамолекулярных взаимодействий. Образование супрамолекул. Супрамолекулярные ансамбли. Виды супрамолекулярных устройств. Биологические системы и их модели.				
Методы получения консолидированных наноматериалов.	3	0	0	8
Порошковые технологии. Особенности поведения наночастиц при прессовании и спекании. Интенсивная пластическая деформация.				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
Деформация кручением под высоким давлением, равноканальное угловое прессование. Особенности формирования структуры. Контролируемая кристаллизация из аморфного состояния.				
Технологии тонких пленок и покрытий.	4	0	0	8
Общая характеристика методов физического осаждения из паровой фазы (Physical Vapor Deposition): термическое испарение, катодное и магнетронное распыление, ионно-лучевые методы. Механизмы роста пленок. Химическое осаждение из паровой фазы (CVD). Химическое осаждение из растворов (spin-coating, dip-coating, spray coating). Пленки Ленгмюра-Блоджетт. Молекулярно-лучевая эпитаксия. Газофазная эпитаксия металлоорганических соединений. Метод молекулярного наслаивания и атомно-слоевая эпитаксия.				
Электрохимические методы формирования наноструктур.	1	0	0	4
Общая характеристика метода. Законы Фарадея. Катодный и анодный процессы. Получение пористого кремния. Получение пористого Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> и TiO <sub>2</sub> методом анодного окисления.				
Нанолитография	4	0	0	10
Общая характеристика пучковых методов. Оптическая (фото) литография. Методы преодоления дифракционного предела: коррекция оптической близости, введение искусственного фазового сдвига, иммерсия, двойное экспонирование, внеосевое освещение и др. Литография ЭУФ-диапазона. Рентгеновская литография. Электронная литография. Ионно-лучевая литография. Непучковые методы нанолитографии: наноимпринт-литография, литография наносферами. перьевая нанолитография.				
Процессы самоорганизации в наносистемах.	2	0	4	16
Самоорганизация в природе. Открытые и закрытые системы. Диссипативная и консервативная самоорганизация. Самоорганизация в наносистемах.				
ИТОГО по 7-му семестру	32	18	18	108
ИТОГО по дисциплине	59	34	34	189



## Тематика примерных практических занятий

№ п.п.	Наименование темы практического (семинарского) занятия
1	Определение структурной организации наносистем на основе фракталов.
2	Теоретическое моделирование электронной структуры кластеров. Магические числа.
3	Расчет физико-химических свойств индивидуальных наночастиц в зависимости от размера.
4	Супрамолекулярные ансамбли и устройства: электронное строение и модели описания.
5	Сложившиеся и перспективные области применения наноматериалов в различных отраслях промышленности.
6	Методы определения размеров наночастиц. Расчет размеров по методу тепловой десорбции азота: определяемая величина, формула расчета, допуски, точность.
7	Научно-техническая статья как форма представления результатов исследования.
8	Альтернативная энергетика и наноматериалы.
9	Биомиметика: архитектура природных материалов, условия формирования и свойства; разработка материалов на основе алгоритмов синтеза природных структур.
10	Методы получения упорядоченных наноструктур. Самоорганизация в наносистемах.
11	Медицинские аспекты нанотехнологий.

## Тематика примерных лабораторных работ

№ п.п.	Наименование темы лабораторной работы
1	Компьютерное моделирование роста дендритных кристаллов.
2	Микроструктурный анализ наноматериалов методом зондовой сканирующей микроскопии.
3	Определение размера частиц дисперсных систем, не подчиняющихся закону Рэля, турбидиметрическим методом.
4	Определение магнитных свойств наночастиц на основе магнитной жидкости.
5	Синтез наночастиц из растворов химических соединений золь-гель технологией.
6	Исследование влияния добавок антикоагулянтов на размер частиц золя.
7	Синтез наночастиц из растворов химических соединений методом осаждения
8	Синтез углеродных нанотрубок.

## Тематика примерных курсовых проектов/работ

№ п.п.	Наименование темы курсовых проектов/работ
1	Сравнительный анализ методов синтеза углеродных нанотрубок.
2	Методы получения графена: механизм формирования, преимущества и недостатки.

№ п.п.	Наименование темы курсовых проектов/работ
3	Методы получения квантовых точек
4	CVD-методы в процессах получения: наночастиц, нанопокровов, углеродных наноструктур.
5	Синтез наночастиц в сверхкритических жидкостях
6	Применение лазерных технологий для синтеза наноматериалов

## 5. Организационно-педагогические условия

### 5.1. Образовательные технологии, используемые для формирования компетенций

Проведение лекционных занятий по дисциплине основывается на активном методе обучения, при котором учащиеся не пассивные слушатели, а активные участники занятия, отвечающие на вопросы преподавателя. Вопросы преподавателя нацелены на активизацию процессов усвоения материала, а также на развитие логического мышления. Преподаватель заранее намечает список вопросов, стимулирующих ассоциативное мышление и установление связей с ранее освоенным материалом.

Практические занятия проводятся на основе реализации метода обучения действием: определяются проблемные области, формируются группы. При проведении практических занятий преследуются следующие цели: применение знаний отдельных дисциплин и креативных методов для решения проблем и принятия решений; отработка у обучающихся навыков командной работы, межличностных коммуникаций и развитие лидерских качеств; закрепление основ теоретических знаний.

Проведение лабораторных занятий основывается на интерактивном методе обучения, при котором обучающиеся взаимодействуют не только с преподавателем, но и друг с другом. При этом доминирует активность учащихся в процессе обучения. Место преподавателя в интерактивных занятиях сводится к направлению деятельности обучающихся на достижение целей занятия.

При проведении учебных занятий используются интерактивные лекции, групповые дискуссии, ролевые игры, тренинги и анализ ситуаций и имитационных моделей.

### 5.2. Методические указания для обучающихся по изучению дисциплины

При изучении дисциплины обучающимся целесообразно выполнять следующие рекомендации:

1. Изучение учебной дисциплины должно вестись систематически.
2. После изучения какого-либо раздела по учебнику или конспектным материалам рекомендуется по памяти воспроизвести основные термины, определения, понятия раздела.
3. Особое внимание следует уделить выполнению отчетов по практическим занятиям, лабораторным работам и индивидуальным комплексным заданиям на самостоятельную работу.
4. Вся тематика вопросов, изучаемых самостоятельно, задается на лекциях преподавателем. Им же даются источники (в первую очередь вновь изданные в периодической научной литературе) для более детального понимания вопросов, озвученных на лекции.

## 6. Перечень учебно-методического и информационного обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

### 6.1. Печатная учебно-методическая литература

№ п/п	Библиографическое описание (автор, заглавие, вид издания, место, издательство, год издания, количество страниц)	Количество экземпляров в библиотеке
<b>1. Основная литература</b>		
1	Гусев А. И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии / А. И. Гусев. - Москва: Физматлит, 2009.	5
2	Кирчанов В. С. Наноматериалы и нанотехнологии : учебное пособие / В. С. Кирчанов. - Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2016.	15
3	Порозова С. Е. Получение наночастиц и наноматериалов : учебное пособие / С. Е. Порозова, В. Б. Кульметьева. - Пермь: Изд-во ПГТУ, 2010.	20
4	Рыжонков Д. И. Наноматериалы : учебное пособие / Д. И. Рыжонков, В. В. Лёвина, Э. Л. Дзидзигуриди. - Москва: БИНОМ. Лаб. знаний, 2010.	4
5	Рыжонков Д.И. Наноматериалы : учебное пособие / Д.И. Рыжонков, В.В. Лёвина, Э.Л. Дзидзигуриди. - Москва: БИНОМ. Лаб. знаний, 2008.	8
6	Старостин В.В. Материалы и методы нанотехнологии : учебное пособие / В.В. Старостин. - Москва: БИНОМ. Лаб. знаний, 2008.	8
<b>2. Дополнительная литература</b>		
<b>2.1. Учебные и научные издания</b>		
1	Андриевский Р.А. Наноструктурные материалы : учебное пособие для вузов / Р.А. Андриевский, А.В. Рагуля. - М.: Академия, 2005.	18
2	Порозова С. Е. Введение в супрамолекулярную химию : учебное пособие / С. Е. Порозова. - Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2012.	5
3	Раков Э. Г. Неорганические наноматериалы : учебное пособие / Э. Г. Раков. - Москва: БИНОМ. Лаб. знаний, 2014.	2
4	Раков Э.Г. Нанотрубки и фуллерены : учебное пособие для вузов / Э.Г. Раков. - М.: Логос, 2006.	5
5	Родунер Э. Размерные эффекты в наноматериалах : монография : пер. с англ. / Э. Родунер. - Москва: Техносфера, 2010.	2
6	Т. 1. - Москва: , Техносфера, 2010. - (Справочник Шпрингера по нанотехнологиям : в 3 т. : пер. с англ.; Т. 1).	4
7	Т. 2. - Москва: , Техносфера, 2010. - (Справочник Шпрингера по нанотехнологиям : в 3 т. : пер. с англ.; Т. 2).	4
8	Т. 3. - Москва: , Техносфера, 2010. - (Справочник Шпрингера по нанотехнологиям : в 3 т. : пер. с англ.; Т. 3).	4
9	Фахльман Б. Д. Химия новых материалов и нанотехнологии : учебное пособие для университетов : пер. с англ. / Б. Д. Фахльман. - Долгопрудный: Интеллект, 2011.	7
10	Фуллерены : учебное пособие для вузов / Л. Н. Сидоров [и др.]. - Москва: Экзамен, 2005.	3
11	Цао Гочжун Наноструктуры и наноматериалы. Синтез, свойства и применение : пер. с англ. / Цао Гочжун , Ин Ван. - Москва: Науч. мир, 2012.	2
<b>2.2. Периодические издания</b>		
1	Известия высших учебных заведений. Порошковая металлургия и функциональные покрытия : журнал / Московский государственный институт стали и сплавов; Калвис. - Москва: Калвис, 2007 - .	

2	Композиты и наноструктуры : научно- технический журнал / Российская академия наук, Институт физики твердого тела; Научно-техническое предприятие Виразж-Центр. - Москва: Машиздат, 2009.	
3	Материаловедение : научно-технический и производственный журнал / Наука и технологии. - Москва: Наука и технологии, 1997 - .	
4	Наноиндустрия : научно-технический журнал / Техносфера. - Москва: Техносфера, 2007 - .	
5	Перспективные материалы : журнал / Российская академия наук; Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова; Московский государственный институт электроники и математики; Московский государственный индустриальный университет. - Москва: Интерконтакт Наука, 1995 - .	
6	Российские нанотехнологии : журнал / Федеральное агентство по науке и инновациям ; Парк-медиа. - Москва: Парк-медиа, 2006 - .	
<b>2.3. Нормативно-технические издания</b>		
	Не используется	
<b>3. Методические указания для студентов по освоению дисциплины</b>		
	Не используется	
<b>4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента</b>		
	Не используется	

## 6.2. Электронная учебно-методическая литература

Вид литературы	Наименование разработки	Ссылка на информационный ресурс	Доступность (сеть Интернет / локальная сеть; авторизованный / свободный доступ)
Дополнительная литература	Порозова С. Е. Введение в супрамолекулярную химию: учебное пособие	<a href="http://elib.pstu.ru/Record/RUPNRPUelib3378">http://elib.pstu.ru/Record/RUPNRPUelib3378</a>	локальная сеть; свободный доступ
Дополнительная литература	Раков Э. Г. Неорганические наноматериалы	<a href="http://elib.pstu.ru/Record/lanRU-LAN-BOOK-135513">http://elib.pstu.ru/Record/lanRU-LAN-BOOK-135513</a>	локальная сеть; свободный доступ
Основная литература	Кирчанов В. С. Наноматериалы и нанотехнологии	<a href="http://elib.pstu.ru/Record/RUPNRPUelib3863">http://elib.pstu.ru/Record/RUPNRPUelib3863</a>	локальная сеть; свободный доступ
Основная литература	Порозова С.Е., Кульметьева В.Б. Получение наночастиц и наноматериалов: учебное пособие. Пермь: Изд-во ПГТУ, 2010	<a href="http://elib.pstu.ru/Record/RUPNRPUelib3148">http://elib.pstu.ru/Record/RUPNRPUelib3148</a>	локальная сеть; свободный доступ

### **6.3. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение, используемое при осуществлении образовательного процесса по дисциплине**

Вид ПО	Наименование ПО
Операционные системы	Windows 10 (подп. Azure Dev Tools for Teaching)
Офисные приложения.	Microsoft Office Professional 2007. лиц. 42661567
Прикладное программное обеспечение общего назначения	Dr.Web Enterprise Security Suite, 3000 лиц, ПНИПУ ОЦНИТ 2017

### **6.4. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине**

Наименование	Ссылка на информационный ресурс
Научная библиотека Пермского национального исследовательского политехнического университета	<a href="http://lib.pstu.ru/">http://lib.pstu.ru/</a>
Электронно-библиотечная система Лань	<a href="https://e.lanbook.com/">https://e.lanbook.com/</a>
Электронно-библиотечная система IPRbooks	<a href="http://www.iprbookshop.ru/">http://www.iprbookshop.ru/</a>
Информационные ресурсы Сети КонсультантПлюс	<a href="http://www.consultant.ru/">http://www.consultant.ru/</a>

### **7. Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине**

Вид занятий	Наименование необходимого основного оборудования и технических средств обучения	Количество единиц
Курсовая работа	Проектор, ноутбук	1
Лабораторная работа	Весы аналитические	2
Лабораторная работа	Микроскоп «Neophot-21»	1
Лабораторная работа	Плитка электрическая	1
Лабораторная работа	СЗМ «Femtoscан»	1
Лабораторная работа	Установка для роста углеродных трубок CVDomna	1
Лабораторная работа	Фотоколориметр ФЭК	3
Лекция	Проектор, ноутбук	1
Практическое занятие	Компьютеры	10
Практическое занятие	Проектор, ноутбук	1

## **8. Фонд оценочных средств дисциплины**

Описан в отдельном документе

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Пермский национальный исследовательский политехнический  
университет»

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**  
для проведения промежуточной аттестации по дисциплине  
«Физико-химические процессы получения и свойства наноматериалов»  
*Приложение к рабочей программе дисциплины*

**Направление подготовки:** 22.03.01 Материаловедение и технологии материалов

**Направленность (профиль) образовательной программы:** Материаловедение и технологии авиационно-космических материалов

**Квалификация выпускника:** «Бакалавр»

**Выпускающая кафедра:** Механика композиционных материалов и конструкций

**Форма обучения:** Очная

**Курс:** 3, 4                      **Семестр:** 6, 7

**Трудоёмкость:**

Кредитов по рабочему учебному плану: 10    3Е

Часов по рабочему учебному плану: 360    ч.

**Форма промежуточной аттестации:**

Дифференцированный зачет: 6 семестр

Экзамен: 7 семестр

Курсовая работа: 7 семестр

Пермь 2023

**Фонд оценочных средств** для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине является частью (приложением) к рабочей программе дисциплины. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине разработан в соответствии с общей частью фонда оценочных средств для проведения промежуточной аттестации основной образовательной программы, которая устанавливает систему оценивания результатов промежуточной аттестации и критерии выставления оценок. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине устанавливает формы и процедуры текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации, обучающихся по дисциплине.

### 1.Перечень контролируемых результатов обучения по дисциплине, объекты оценивания и виды контроля

Согласно РПД освоение учебного материала дисциплины запланировано в течение двух семестров (6, 7-го семестров учебного плана) и разбито на 6 учебных модуля. В каждом модуле предусмотрены аудиторские лекционные, практические и лабораторные занятия, а также самостоятельная работа студентов. В рамках освоения учебного материала дисциплины формируются компоненты компетенций *знать, уметь, владеть*, указанные в РПД, которые выступают в качестве контролируемых результатов обучения по дисциплине (табл. 1.1).

Контроль уровня усвоенных знаний, усвоенных умений и приобретенных владений осуществляется в рамках текущего, рубежного и промежуточного контроля при изучении теоретического материала, сдаче отчетов по лабораторным работам и дифференцированного зачёта. Виды контроля сведены в таблицу 1.1.

Таблица 1.1 - Перечень контролируемых результатов обучения по дисциплине

Контролируемые результаты освоения дисциплины (ЗУВы)	Вид контроля							
	Текущий	Рубежный				Итоговый		
	ТК	ПК	ПЗ	ЛР	РГР	Кр	Зачет	Экзамен
	<b>Усвоенные знания</b>							
- основные физико-химические особенности строения, структуры и свойств наночастиц, наноматериалов, углеродных нанотрубок, фуллеренов и других нанообъектов;	+	+					+	
- современное состояние научных исследований и разработок в области наноматериалов.	+	+				+	+	+
- физико-химические основы и основные методы получения наночастиц и наноматериалов;	+	+						+
- методы получения консолидированных наноматериалов;	+	+						+
- основные методы нанолитографии и процессы самоорганизации, протекающие при синтезе наноматериалов.	+	+						+
	<b>Освоенные умения</b>							
- использовать современные представления о влиянии наномасштаба на свойства материалов при анализе		+	+	+			+	



полученных результатов.								
- выполнять экспериментальные исследования нанообъектов.				+				
- использовать знания об основных видах современных наноматериалов при выборе технологии их получения;			+					+
- выполнять поиск научно-технической информации по методам получения наночастиц, процессам формирования наноструктур и наноматериалов.			+			+		
<b>Приобретенные владения</b>								
- навыками проведения исследований структуры и свойств наночастиц, наноматериалов и интерпретации результатов.				+			+	
- навыками синтеза наночастиц в жидких средах и получения наноматериалов.				+				+
- навыками анализа полученных результатов и определения оптимальных параметров процесса производства наноматериалов.				+				+

Примечание:

ТК – текущий контроль в форме контрольной работы (контроль знаний по теме);

ПК – промежуточный контроль в форме контрольной работы (контроль знаний по теме);

ПЗ – выполнение практических работ (оценка умений);

ЛР – выполнение лабораторных работ с подготовкой отчёта (оценка владения);

Кр – курсовая работа; (оценка умений и владений).

Итоговой оценкой достижения результатов обучения по дисциплине является промежуточная аттестация в виде дифференцированного зачета и экзамена, проводимая с учетом результатов текущего и рубежного контроля.

## **2. Виды контроля, типовые контрольные задания и шкалы оценивания результатов обучения**

Текущий контроль успеваемости имеет целью обеспечение максимальной эффективности учебного процесса, управление процессом формирования заданных компетенций обучаемых, повышение мотивации к учебе и предусматривает оценивание хода освоения дисциплины. В соответствии с Положением о проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, специалитета и магистратуры в ПНИПУ предусмотрены следующие виды и периодичность текущего контроля успеваемости обучающихся:

- входной контроль, проверка исходного уровня подготовленности обучаемого и его соответствия предъявляемым требованиям для изучения данной дисциплины;

- текущий контроль усвоения материала (уровня освоения компонента «знать» заданных компетенций) на каждом групповом занятии и контроль посещаемости лекционных занятий;

- промежуточный и рубежный контроль освоения обучаемыми отдельных компонентов «знать», «уметь» заданных компетенций путем компьютерного или бланочного тестирования, контрольных опросов, контрольных работ

(индивидуальных домашних заданий), защиты отчетов по лабораторным работам, рефератов, эссе и т.д.

Рубежный контроль по дисциплине проводится на следующей неделе после прохождения модуля дисциплины, а промежуточный – во время каждого контрольного мероприятия внутри модулей дисциплины;

- межсессионная аттестация, единовременное подведение итогов текущей успеваемости не менее одного раза в семестр по всем дисциплинам для каждого направления подготовки (специальности), курса, группы;
- контроль остаточных знаний.

### **2.1. Текущий контроль усвоения материала**

Текущий контроль в форме собеседования или выборочного теоретического опроса студентов проводится по каждой теме. Результаты по 4-х балльной шкале оценивания учитываются при проведении промежуточной аттестации.

Текущему контролю подлежит посещаемость студентами аудиторных занятий.

### **2.2. Рубежный контроль**

Рубежный контроль для комплексного оценивания усвоенных знаний, умений и приобретенных владений (табл. 1.1) проводится по каждому учебному модулю в следующих формах:

- защита лабораторных работ (модули 1, 2, 4, 5);
- защита практических работ (модули 1-6);
- контрольные работы (тестирование) (модули 1, 2, 4-6).

#### **2.2.1. Защита практических и лабораторных работ**

Всего запланировано 11 практических и 8 лабораторных работ. Темы практических и лабораторных работ приведены в РПД.

Защита лабораторной работы проводится индивидуально каждым студентом или группой студентов. Результаты защиты лабораторных работ по 4-балльной шкале оценивания учитываются при проведении промежуточной аттестации. Типовые шкала и критерии оценки приведены в общей части ФОС образовательной программы.

#### **2.2.2. Контрольные работы (тестирование)**

Согласно РПД запланировано 6 рубежных контрольных работ (тестирование) после изучения студентами учебных модулей дисциплины. Результаты рубежной контрольной работы по 4-балльной шкале оценивания знаний и умений учитываются при проведении промежуточной аттестации. Типовые шкала и критерии оценки приведены в общей части ФОС образовательной программы.

Первая и вторая Т/КР по модулю 1 «Общая характеристика наноструктур и наносостояния», третья Т/КР – по модулю 2 «Общая характеристика свойств наноматериалов». Четвертая Т/КР по модулю 4 «Основные методы получения наночастиц», пятая Т/КР – по модулю 5 «Методы получения наноматериалов» и

шестая Т/КР – по модулю 6 «Гетерогенные процессы формирования наноструктур и наноматериалов, нанотехнологии».

#### **Типовые вопросы первой Т/КР:**

1. Нульмерные, одномерные, двумерные, трехмерные структуры.
2. Квантовые точки.
3. Квантовые проволоки.
4. Квантовые ямы.
5. Металлические и молекулярные кластеры.
6. Супрамолекулярные структуры.
7. Коллоидные кластеры и наноструктуры.
8. Нанокристаллы.
9. Углеродные наноматериалы.
10. Биологические наноматериалы.

#### **Типовые вопросы второй Т/КР:**

1. Принципы структурной организации нанообъектов.
2. Основные особенности наноструктур.
3. Границы раздела фаз. Структура поверхности и межфазных границ.
4. Роль межфазных границ в формировании свойств наноматериалов.
5. Микроструктура компактных нанокристаллических материалов.
6. Физические причины специфики наноматериалов.
7. Размерные эффекты квантовых наноструктур.
8. Квазиравновесие в наносистемах.
9. Устойчивость нанообъектов.
10. Кинетика процессов в наносистемах.

#### **Типовые вопросы третьей Т/КР:**

1. Электронное строение кластеров.
2. Атомные и молекулярные орбитали.
3. Электронные состояния для трехмерных, двумерных, одномерных и нульмерных структур.
4. Магические числа.
5. Модель желе.
6. Свойства наночастиц: структурные и фазовые превращения.
7. Свойства наночастиц: период решетки.
8. Свойства наночастиц: фононный спектр, температура плавления и теплоемкость.
9. Магнитные свойства наночастиц. Суперпарамагнетизм.
10. Оптические свойства металлических и полупроводниковых наночастиц. Плазмонный резонанс.
11. Реакционная способность наночастиц. Биологические свойства наночастиц.
12. Физические свойства фуллеренов.
13. Химия фуллеренов: окислительно-восстановительные свойства, реакции присоединения, реакции полимеризации.
14. Физические свойства углеродных нанотрубок: механические, электрические, эмиссионные, магнитные, термические и другие.

15. Химические свойства углеродных нанотрубок: реакции окисления, присоединения и замещения, заполнение внутренних полостей, адсорбционные свойства.

16. Свойства супрамолекулярных ансамблей и устройств.

Фотонные кристаллы.

#### **Типовые вопросы четвертой Т/КР:**

1. Общие подходы, характерные для методов получения наночастиц.
2. Классификация методов получения наноразмерных частиц.
3. Получение наночастиц методами испарения-конденсации.
4. Механическое измельчение (механосинтез).
5. Диспергационные методы получения наночастиц.
6. Получение наночастиц химическим осаждением из паровой фазы (CVD).
7. Получение наночастиц с применением детонационного синтеза.
8. Получение наночастиц с применением плазмохимического синтеза).
9. Получение наночастиц методом химического осаждения (соосаждения).
10. Получение наночастиц методом золь-гель.
11. Гидротермальный метод получения наночастиц .
12. Криохимический метод получения наночастиц.
13. Микроэмульсионный метод получения наночастиц.
14. Получение наночастиц методами разложения нестабильных соединений.
15. Получение наночастиц с использованием восстановительных процессов.
16. Электрохимические методы получения наночастиц.
17. Биологические методы синтеза наноматериалов.

#### **Типовые задания пятой Т/КР:**

1. Классификация углеродных материалов.
2. Строение и номенклатура фуллеренов.
3. Получение фуллеренов: возгонка и десублимация графита в электрической дуге.
4. Получение фуллеренов: лазерное испарение графитовой мишени.
5. Получение фуллеренов: пиролиз углеводородов.
6. Методы очистки фуллеренов и детектирования.
7. Механизм образования фуллеренов.
8. Строение нанотрубок.
9. Получение УНТ: термическое распыление в дуговом разряде и метод лазерной абляции.
10. Получение УНТ: термическое разложение (диспропорционирование) СО. Пиролиз углеводородов.
11. Механизмы образования УНТ.
12. Методы синтеза графена (graphene).
13. Получение фуллереноподобных и неорганических нанотрубок из прекурсоров со слоистой структурой.
14. Темплатный синтез нанотрубок. Формирование нанотрубок с использованием принципа структурного несоответствия.
15. Методы формирования одномерных наноструктур.
16. Строение нанопористых материалов.

17. Природные и синтетические нанопористые материалы.
18. Цеолиты как пример природных нанопористых структур.
19. Методы получения нанопористых материалов.
20. Темплатный синтез (template synthesis).
21. Основные понятия и термины супрамолекулярной химии.
22. Природа супрамолекулярных взаимодействий.
23. Образование супрамолекул. Супрамолекулярные ансамбли.
24. Виды супрамолекулярных устройств. Биологические системы и их модели.
25. Особенности поведения наночастиц при прессовании и спекании.
26. Деформация кручением под высоким давлением.
27. Равноканальное угловое прессование.
28. Особенности формирования структуры при ИПД.
29. Получение аморфных неорганических наноструктур.

#### **Типовые задания шестой Т/КР:**

1. Получение тонких пленок и покрытий методом термического испарения.
2. Получение тонких пленок и покрытий методом катодного и магнетронного распыления.
3. Получение тонких пленок и покрытий ионно-лучевыми методами.
4. Механизмы роста пленок.
5. Получение тонких пленок и покрытий химическим осаждением из паровой фазы (CVD).
6. Получение тонких пленок и покрытий химическим осаждением из растворов (spin-coating, dip-coating, spray coating).
7. Пленки Ленгмюра-Блоджетт.
8. Молекулярно-лучевая эпитаксия (molecular beam epitaxy, MBE).
9. Газофазная эпитаксия металлоорганических соединений (Metallorganic chemical vapor deposition, MOCVD).
10. Метод молекулярного наслаивания и атомно-слоевая эпитаксия.
11. Получение пористого кремния.
12. Получение пористого  $Al_2O_3$  и  $TiO_2$  методом анодного окисления.
13. Общая характеристика пучковых методов. Маска (Mask). Резисты (Photoresist). Позитивная и негативная литографии.
14. Оптическая (фото) литография (optical lithography).
15. Методы преодоления дифракционного предела.
16. Литография ЭУФ-диапазона.
17. Рентгеновская литография.
18. Электронная литография (Focused-electron beam lithography).
19. Ионно-лучевая литография.
20. Наноимпринт-литография.

#### **2.2.3. Выполнение курсовой работы**

Для оценивания навыков и опыта деятельности (владения), как результата обучения по дисциплине, используется курсовая работа.

Типовые темы курсовых работ приведены в РПД.

Результаты защиты курсовой работы по 4-балльной шкале оценивания

умений и владений заносятся в виде интегральной оценки при проведении промежуточной аттестации.

### **2.3. Промежуточная аттестация (итоговый контроль)**

Промежуточная аттестация обучающихся ориентирована на оценку освоения заданных компетенций по достигнутым результатам обучения: приобретенным знаниям, умениям и навыкам. В конце изучения дисциплины для оценивания окончательных результатов обучения предусмотрена промежуточная аттестация в виде **дифференцированного зачета** в 6 семестре и экзамена в 7 семестре.

#### **2.3.1. Процедура промежуточной аттестации без дополнительного аттестационного испытания**

Зачет по дисциплине основывается на результатах текущего и рубежного контроля выполнения предыдущих индивидуальных заданий студента по данной дисциплине.

Полученные интегральные оценки за образовательные результаты заносятся в оценочный лист. Типовые шкала, критерии оценки и форма оценочного листа приведены в общей части ФОС образовательной программы.

#### **2.3.2. Процедура промежуточной аттестации с проведением аттестационного испытания**

Допуск к промежуточной аттестации осуществляется по результатам текущего и рубежного контроля. Условиями допуска являются успешная сдача всех практических и лабораторных работ, курсовой работы и положительная интегральная оценка по результатам текущего и рубежного контроля.

Промежуточная аттестация, согласно РПД, проводится в виде экзамена по дисциплине устно по билетам. Билет содержит теоретические вопросы (ТВ) для проверки усвоенных знаний, практические задания (ПЗ) для проверки усвоенных умений и комплексные задания (КЗ) для контроля уровня приобретенных владений всех заявленных компетенций.

Билет формируется таким образом, чтобы в него попали вопросы и практические задания, контролирующие уровень сформированности *всех* заявленных компетенций. Форма билета представлена в общей части ФОС образовательной программы.

Типовые вопросы для контроля усвоенных знаний для зачета по дисциплине приведены в ПРИЛОЖЕНИИ 1. Типовые вопросы для контроля усвоенных знаний для экзамена по дисциплине приведены в ПРИЛОЖЕНИИ 2.

#### **2.3.3. Шкалы оценивания результатов обучения на зачете**

Оценка результатов обучения по дисциплине в форме уровня сформированности компонентов *знать, уметь, владеть* заявленных компетенций проводится по 4-х балльной шкале оценивания.

Типовые шкала и критерии оценки результатов обучения при сдаче зачета для компонентов *знать, уметь и владеть* приведены в общей части ФОС образовательной программы.

### **3. Критерии оценивания уровня сформированности компонентов и компетенций**

#### **3.1. Оценка уровня сформированности компонентов компетенций**

При оценке уровня сформированности компетенций в рамках выборочного контроля при экзамене считается, что *полученная оценка за компонент проверяемой в билете компетенции обобщается на соответствующий компонент всех компетенций, формируемых в рамках данной учебной дисциплины.*

Типовые критерии и шкалы оценивания уровня сформированности компонентов компетенций приведены в общей части ФОС образовательной программы.

#### **3.2. Оценка уровня сформированности компетенций**

Общая оценка уровня сформированности всех компетенций проводится путем агрегирования оценок, полученных студентом за каждый компонент формируемых компетенций, с учетом результатов текущего и рубежного контроля в виде интегральной оценки по 4-х балльной шкале. Все результаты контроля заносятся в оценочный лист и заполняются преподавателем по итогам промежуточной аттестации.

Форма оценочного листа и требования к его заполнению приведены в общей части ФОС образовательной программы.

При формировании итоговой оценки промежуточной аттестации в виде экзамена используются типовые критерии, приведенные в общей части ФОС образовательной программы.

**Примерный перечень вопросов к зачету**

1. Классификация нанообъектов: Нульмерные, одномерные, двумерные, трехмерные структуры.
2. Классификация нанообъектов: Квантовые точки. Квантовые проволоки. Квантовые ямы.
3. Металлические и молекулярные кластеры. Коллоидные кластеры и наноструктуры.
4. Супрамолекулярные структуры.
5. Нанокристаллы.
6. Углеродные наноматериалы.
7. Биологические наноматериалы.
8. Принципы структурной организации нанообъектов.
9. Основные особенности наноструктур.
10. Границы раздела фаз. Структура поверхности и межфазных границ.
11. Роль межфазных границ в формировании свойств наноматериалов.
12. Физические причины специфики наноматериалов.
13. Размерные эффекты квантовых наноструктур.
14. Квазиравновесие в наносистемах. Устойчивость нанообъектов.
15. Электронные состояния для трехмерных, двумерных, одномерных и нульмерных структур.
16. Свойства наночастиц: структурные и фазовые превращения, период решетки.
17. Магнитные свойства наночастиц. Суперпарамагнетизм.
18. Физические свойства фуллеренов.
19. Физические свойства углеродных нанотрубок



**Типовые вопросы к экзамену**

1. Основные определения, понятия и классификация методов получения наноразмерных частиц.
2. Получение наночастиц методами испарения-конденсации .
3. Механическое измельчение (механосинтез).
4. Диспергационные методы получения наночастиц и получение наночастиц распылением расплава.
5. Получение наночастиц химическим осаждением из паровой фазы (CVD).
6. Получение наночастиц с применением технологий высокоэнергетического синтеза (детонационный и плазмохимический синтезы).
7. Получение наночастиц методами химического осаждения (соосаждения) и золь-гель.
8. Гидротермальный и криохимический методы получения наночастиц.
9. Микроэмульсионный метод получения наночастиц.
10. Получение наночастиц методами разложения нестабильных соединений.
11. Получение наночастиц с использованием восстановительных процессов.
12. Электрохимические методы получения наночастиц.
13. Биологические методы синтеза наноматериалов.
14. Получение объемных компактных наноматериалов методами порошковых технологий и интенсивной пластической деформацией.
15. Получение аморфных неорганических наноструктур: механизмы и условия аморфизации.
16. Методы получения графена.
17. Строение и номенклатура фуллеренов.
18. Методы получения и очистки фуллеренов.
19. Механизм образования фуллеренов.
20. Строение углеродных нанотрубок.
21. Синтез углеродных нанотрубок (термическое распыление и метод лазерной абляции).
22. Синтез углеродных нанотрубок пиролизом углеводородов.
23. Получение фуллереноподобных наноструктур и нанотрубок неорганических веществ.
24. Методы формирования одномерных наноструктур (нанонитей, наностержней, нанопроволок).
25. Получение тонких пленок и покрытий методами физического осаждения из паровой фазы (общая характеристика).
26. Механизмы роста пленок, получаемые методами физического осаждения из паровой фазы.
27. Получение тонких пленок и покрытий химическим осаждением из паровой фазы (CVD) и растворов.
28. Пленки Ленгмюра-Блоджетт.
29. Метод молекулярно-лучевой эпитаксии.
30. Газофазная эпитаксия металлоорганических соединений и химическая сборка поверхностных наноструктур.
31. Электрохимические методы. Получение пористого кремния.

32. Получение пористого оксида алюминия методом анодного окисления.
33. Оптическая нанолитография.
34. Рентгеновская нанолитография.
35. Электроннолучевая литография.
36. Ионно-лучевая литография и литография ЭУФ.
37. Непучковые методы нанолитографии.
38. Процессы самосборки в наносистемах
39. Нанопористые материалы. Цеолиты как пример природных нанопористых структур. Молекулярные сита.
40. Природа супрамолекулярных взаимодействий.
41. Разновидности молекул-хозяев в супрамолекулярной химии, супрамолекулярные ансамбли.
42. Супрамолекулярные устройства: фото- и электрохимические устройства, молекулярные устройства, материалы для нелинейной оптики.
43. Белки и нуклеиновые кислоты.
44. Альтернативная энергетика и наноматериалы.
45. Клатратные гидраты. Гидрат метана.
46. Медицинские аспекты нанотехнологий.