

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего
образования
"САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
АЭРОКОСМИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ"

Кафедра № 6

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель направления

д.э.н., проф.

(должность, уч. степень, звание)

В.В. Окрепилов

(инициалы, фамилия)



(подпись)

«24» июня 2021 г

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«Методы исследования с использованием сканирующей зондовой микроскопии»
(Наименование дисциплины)

Код направления подготовки/ специальности	27.03.01
Наименование направления подготовки/ специальности	Стандартизация и метрология
Наименование направленности	Метрология, стандартизация, сертификация
Форма обучения	очная

Санкт-Петербург - 2021

Лист согласования рабочей программы дисциплины

Программу составил

Доц., к.т.н.

(должность, уч. степень, звание)



(подпись, дата)

23.06.2021

А.Г. Грабарь

(инициалы, фамилия)

Программа одобрена на заседании кафедры № 6

«23» июня 2021 г, протокол № 17

/Заведующий кафедрой № 6

д.э.н., проф.

(уч. степень, звание)



(подпись, дата)

23.06.2021

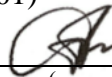
В.В. Окрепилов

(инициалы, фамилия)

Ответственный за ОП ВО 27.03.01(01)

доц., к.т.н.

(должность, уч. степень, звание)



(подпись, дата)

24.06.2021

А.С. Степашкина

(инициалы, фамилия)

Заместитель директора института ФПТИ по методической работе

доц., к.т.н., доц.

(должность, уч. степень, звание)



(подпись, дата)

24.06.2021

М.С. Смирнова

(инициалы, фамилия)

Аннотация

Дисциплина «Методы исследования с использованием сканирующей зондовой микроскопии» входит в образовательную программу высшего образования – программу бакалавриата по направлению подготовки/ специальности 27.03.01 «Стандартизация и метрология» направленности «Метрология, стандартизация, сертификация». Дисциплина реализуется кафедрой «№6».

Дисциплина нацелена на формирование у выпускника следующих компетенций:

ПК-2 «Способен обновлять базу рабочих эталонов и средств измерительной техники»

ПК-5 «Способен осуществлять работы по контролю точности оборудования и контролю технологической оснастки»

ПК-6 «Способен выполнять работы по обеспечению достоверности результатов измерений для оценки соответствия продукции в процессе производства»

ПК-8 «Способен осуществлять научно-техническую деятельность и экспериментальные разработки в области обеспечения единства измерений»

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с методами исследования физических, физико-химических и геометрических параметров и характеристик твердотельных и молекулярных структур. Среди множества методов исследований, методы сканирующей зондовой микроскопии (СЗМ) являются наиболее распространенными. Они позволяют получить высокое разрешение, реально обеспечивают визуализацию структуры объектов исследования с атомным разрешением. В настоящее время используется определенный комплекс методов исследования микро и наноструктур, среди которых можно выделить основные группы методов: электронная микроскопия высокого разрешения; методы сканирующей электронной микроскопии; сканирующая туннельная микроскопия; рентгенодифракционные методы с использованием эффекта высокой светимости синхротронных источников; методы электронной спектроскопии для химического анализа.

Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: лекции, практические занятия самостоятельная работа обучающегося.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля: текущий контроль успеваемости, промежуточная аттестация в форме экзамена.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 3 зачетных единицы, 108 часов.

Язык обучения по дисциплине «русский»

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине

1.1. Целью преподавания дисциплины является получение студентами необходимых знаний в сфере высоких технологий связанных с прикладными исследованиями конструированием и практическим использованием материалов и веществ на атомном и молекулярном уровнях, а также средствах, методов и методик исследования физических, физико-химических и геометрических параметров и характеристик твердотельных и молекулярных объектов. При этом особое внимание уделено изучению особенностей высокоразрешающих методов исследований молекулярных объектов, обеспечивающих получение наиболее полной информации об основных свойствах и характеристиках и протекающих в них процессах.

1.2. Дисциплина входит в состав части, формируемой участниками образовательных отношений, образовательной программы высшего образования (далее – ОП ВО).

1.3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОП ВО.

В результате изучения дисциплины обучающийся должен обладать следующими компетенциями или их частями. Компетенции и индикаторы их достижения приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Перечень компетенций и индикаторов их достижения

Категория (группа) компетенции	Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
Профессиональные компетенции	ПК-2 Способен обновлять базу рабочих эталонов и средств измерительной техники	ПК-2.3.1 знать нормативную документацию, типы средств измерений, используемых на данном производстве
Профессиональные компетенции	ПК-5 Способен осуществлять работы по контролю точности оборудования и контролю технологической оснастки	ПК-5.3.1 знать методы и средства технического контроля, техническую документацию на технологическое оборудование, требования к точности технологической оснастки ПК-5.У.1 уметь применять измерительное оборудование, необходимое для проведения измерений, применять средства измерения для контроля точности оборудования и технологической оснастки, определять соответствие характеристик оборудования нормам
Профессиональные компетенции	ПК-6 Способен выполнять работы по обеспечению достоверности результатов измерений для оценки соответствия продукции в процессе производства	ПК-6.3.1 знать принципы применения типовых средств измерений и контроля, используемых в оценке соответствия, требования к качеству сырья, материалов, полуфабрикатов, комплектующих изделий и готовой продукции

Профессиональные компетенции	ПК-8 Способен осуществлять научно-техническую деятельность и экспериментальные разработки в области обеспечения единства измерений	ПК-8.3.1 знать области применения методов измерений; методы оценки результатов измерений; методы оценивания неопределенности измерений ПК-8.У.1 уметь идентифицировать потребность в информации, обладать навыками по эффективному нахождению, оценке и использованию информации
------------------------------	--	---

2. Место дисциплины в структуре ОП

Дисциплина может базироваться на знаниях, ранее приобретенных обучающимися при изучении следующих дисциплин:

- физические основы измерений и эталоны;
- методы и средства измерений, испытаний и контроля;
- основы информатизации измерений;
- основы электротехники и радиотехники;
- основы моделирование систем и процессов;
- прикладная и законодательная метрология;
- общая теория измерений

Знания, полученные при изучении материала данной дисциплины, имеют как самостоятельное значение, так и могут использоваться при изучении других дисциплин:

- цифровые методы и средства измерений;
- производственная практика;
- производственная преддипломная практика.

3. Объем и трудоемкость дисциплины

Данные об общем объеме дисциплины, трудоемкости отдельных видов учебной работы по дисциплине (и распределение этой трудоемкости по семестрам) представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Объем и трудоемкость дисциплины

Вид учебной работы	Всего	Трудоемкость по семестрам
		№6
1	2	3
Общая трудоемкость дисциплины, ЗЕ/ (час)	3/ 108	3/ 108
Из них часов практической подготовки	27	34
Аудиторные занятия, всего час.	51	51
в том числе:		
лекции (Л), (час)	24	24
практические/семинарские занятия (ПЗ), (час)	27	27
экзамен, (час)	36	36
Самостоятельная работа, всего (час)	21	21
Вид промежуточной аттестации: зачет, дифф. зачет, экзамен (Зачет, Дифф. зач, Экз.**)	Экз.	Экз.

Примечание: ** кандидатский экзамен

4. Содержание дисциплины

4.1. Распределение трудоемкости дисциплины по разделам и видам занятий.
Разделы, темы дисциплины и их трудоемкость приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Разделы, темы дисциплины, их трудоемкость

Разделы, темы дисциплины	Лекции (час)	ПЗ (СЗ) (час)	ЛР (час)	КП (час)	СРС (час)
Семестр 6					
Раздел 1. Общие сведения об объектах исследования микро и наноструктурных объектах. Назначение, определения, классификация	2				2
Раздел 2. Структура, свойства, методы получения и особенности применения наноструктур	2	4			2
Раздел 3. Характеристика концепций молекулярных нанотехнологий	2				
Раздел 4. Общая характеристика методов исследований объектов микро и наноструктур	2	2			2
Раздел 5. Основные гетерогенные процессы формирования наноструктурированных объектов	2				2
Раздел 6. Методы исследований и изучения физико-химических свойств нанообъектов и систем	2	8			2
Раздел 7. Физические принципы построения технических средств исследования наноструктур	2	2			2
Раздел 8. Электронная микроскопия. Основные методы сканирующей зондовой микроскопии	2	4			2
Раздел 9. Туннельный эффект и сканирующая туннельная микроскопия	2				2
Раздел 10 Основы механики и конструкций средств измерений наноструктурированных объектов	2	4			2
Раздел 11. Особенности работы с электронным микроскопом	2	3			2
Раздел 12 Безопасность нанотехнологий и проблемы окружающей среды	2				1
Итого в семестре:	24	27			21

Практическая подготовка заключается в непосредственном выполнении обучающимися определенных трудовых функций, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

4.2. Содержание разделов и тем лекционных занятий.

Содержание разделов и тем лекционных занятий приведено в таблице 4.

Таблица 4 – Содержание разделов и тем лекционного цикла

Номер раздела	Название и содержание разделов и тем лекционных занятий
Раздел 1	<p>Общие сведения об объектах исследования микро и наноструктурных объектах. Назначение, определения, классификация</p> <p>Тема 1.1 Введение в наномир. В настоящее время происходят коренные изменения в сфере высоких технологий, микромеханики и других областях человеческой деятельности, связанных с фундаментальными и прикладными исследованиями, конструированием и практическим использованием материалов, устройств и средств измерений объектов, элементы которых имеют размеры менее 100 нм.</p>

	<p>Тема 1.2 Инструменты нанотехнологии</p> <p>Современные методы исследования, применяемые в нанотехнологиях стали возможны, когда были разработаны и инструментально подтверждены основные идеи атомно-молекулярной теории и получены первые рентгеновские дифракционные изображения кристаллических структур. Важным событием в истории нанонки стало изобретение просвечивающей электронной микроскопии, позволяющей получить изображение наноразмерных структур, а также изобретение сканирующего туннельного микроскопа.</p> <p>Тема 1.3 Исследование объектов нанотехнологий</p> <p>Предметом нанотехнологий является новые объекты – наноструктуры, которые имеют субмикронный размер в одном из направлений, которые в свою очередь, нуждаются в классификации. В основу классификации положены структура, состав, а также их физико-химические свойства.</p>
<p>Раздел 2</p>	<p>Структура, свойства, методы получения и особенности применения наноструктур.</p> <p>Тема 2.1 Физико-химические свойства наноструктур</p> <p>В области высоких технологий широко используется классификация дисперсных систем по дисперсности, т.е. по размерам и удельной площади поверхности дисперсной фазы. В первом приближении дисперсные системы подразделяются на грубодисперсные и тонкодисперсные, так называемые коллоидные системы.</p> <p>Тема 2.2 Углеродные структуры - углерод является наиболее распространенным элементом в природе, он существует в твердой фазе и нескольких модификациях с различными физико-химическими свойствами: графит, алмаз, карбин, графен. Важнейшей особенностью углерода является способность образовывать цепочки –С –С – С-, которые природа использует для создания биологических полимеров, а человек для производства различных синтетических материалов.</p> <p>Тема 2.3. В конце прошлого столетия были открыты новые углеродные соединения, среди которых фуллерен, обладающий уникальными свойствами. Фуллерен имеет каркасную структуру, которая состоит из заплаток пяти- и шестиугольной формы. В 1990 г. был разработан метод получения фуллерена.</p> <p>Тема 2.4. В 1991 г. в продуктах электродугового испарения графита были обнаружены цилиндрические углеродные конструкции, получившие названия «нанотрубки». Нанотрубка представляет собой протяженные цилиндрические структуры диаметром от одного до нескольких десятков нанометров и длиной до нескольких сантиметров. По существу такая нанотрубка представляет собой одну молекулу, состоящую из миллиона атомов углерода. В общем случае, УНТ обладают уникальными электрическими, механическими и химическими свойствами.</p>
<p>Раздел 3</p>	<p>Характеристика концепций молекулярных нанотехнологий</p> <p>Тема 3.1. История развития нанотехнологий</p> <p>Идею о том, что возможно создавать нужные нам устройства и другие объекты, собирая их "молекула за молекулой" и, даже, "атом за атомом" обычно возводят к знаменитой лекции одного из крупнейших физиков XX века Ричарда Фейнмана «Там внизу — много места». Эта лекция была прочитана им в 1959 году; большинство современников восприняли её как фантастику или шутку.</p> <p>Современный вид идеи молекулярной нанотехнологии начали приобретать в 80-е годы XX века в результате работ К. Э. Дрекслера, которые также сначала воспринимались как научная фантастика. При этом фундаментальная монография "Наносистемы. Молекулярная</p>

	<p>техника, производство и вычисления" имеет, несомненно, основополагающее значение. Сам термин нанотехнология стал популярен именно после выхода в свет знаменитой книги Э. Дрекслера "Машины творения" и последовавшей за этим дискуссии. Позже Дрекслер в своих научных работах стал использовать термин молекулярная нанотехнология (МНТ) для различения предлагаемых им решений.</p> <p>Тема 3.2. Особенности твердотельных наноструктур.</p> <p>Оценки параметров наномеханических устройств и машин - в своих работах Э. Дрекслер и его последователи оценивали параметры в основном механических устройств, которые они могли бы иметь при приближении размера компонент к молекулярному масштабу. Это обусловлено не тем, что они недооценивают важность электрических, оптических и т. д. эффектов, а тем, что механические конструкции гораздо проще и достовернее масштабируются. При этом осознаётся, что электрические и прочие эффекты могут дать значительные дополнительные возможности. Произведя соответствующее масштабирование Дрекслер получил следующие численные оценки:</p> <ul style="list-style-type: none"> - позиционирование реагирующих молекул с точностью ~0.1 нм; - механосинтез с производительностью ~106 опер/сек на устройство; - молекулярная сборка объекта массой 1 кг за ~104 сек; - работа наномеханического устройства с частотой ~109 Гц. <p>Тема 3.3. Объекты наномолекулярной технологии</p> <p>Были проведены исследования по вопросам возможного функционирования работы "устройства" аналогичного масштаба в живых организмах. В качестве примера целесообразно рассмотреть работу представителя живого организма АТФ-синтаза являющегося ферментом, преобразующим разность концентраций протонов по разные стороны мембраны в энергию, запасённую в молекулах аденозинтрифосфата (АТФ). Последнее используется практически всеми механизмами клетки в качестве универсального носителя энергии. АТФ-синтаза присутствует в "энергетических станциях" растительных и животных клеток - хлоропластах и митохондриях и представляет собой довольно сложную конструкцию из нескольких типов единиц - белковых молекул.</p> <p>Тема 3.4. Углерод в природе</p> <p>Всё живое на Земле состоит из соединений углерода. Значение этого элемента трудно переоценить. Оно определяется огромным разнообразием его форм в соединениях. Углеродные цепочки могут образовывать линейный скелет молекул, циклические и сложные объёмные скелетные структуры; углерод представляет огромный интерес и в чистом виде, принимая различные формы от алмаза до молекулярных волокон и нанотрубок. Ковалентная связь углерод-углерод является наиболее прочной из известных. До сравнительно недавнего времени известны были только две разновидности упорядоченного чистого углерода - алмаз и графит. Потом были обнаружены и другие - сначала были синтезированы молекулярные волокна, затем открыты полые сферические молекулы - фуллерены; при поиске эффективных методов синтеза последних были обнаружены углеродные нанотрубки. Именно материалы на основе углерода Дрекслер рассматривает в качестве основных кандидатов для изготовления конструкций наномеханизмов.</p>
Раздел 4	Общая характеристика методов исследований объектов микро и наноструктур

	<p>Тема 4.1. Инструменты нанотехнологий</p> <p>Одними из первых инструментов, которые помогли инициировать идеи нанотехнологий, были так называемые сканирующие зонды. Все типы сканирующих зондов были разработаны в Цюрихе в начале 80-х годов. Сама идея очень проста: если, к примеру, провести пальцем по поверхности, то легко отличить бархат от стали или дерева. В данном эксперименте палец действует как структура измерения силы. Данная идея и положена в основу работы сканирующего микроскопа, одного из распространенных сканирующих зондов. Сканирующий зонд при измерении скользит по поверхности так же, как это делают пальцы. Зонд имеет наноскопический размер (часто всего один атом). При движении он может определять несколько различных свойств, каждое из которых соответствует иному измерению.</p> <p>Тема 4.2. Атомно-силовой микроскоп</p> <p>В атомно-силовом микроскопе электроника используется для измерения силы вводимой кончиком зонда при его движении вдоль поверхности исследуемого объекта.</p> <p>Тема 4.3. Туннельный микроскоп.</p> <p>В туннельном микроскопе измеряется величина электрического тока, проходящего между сканирующим зондом и поверхностью. Туннельная микроскопия – это практически первый разработанный метод зондового сканирования, нашедшего широкое применение.</p> <p>Тема 4.4. Магнитно-силовой микроскоп</p> <p>В магнитно-силовом микроскопе зонд, сканирующий поверхность, является магнитным, он позволяет почувствовать на поверхности локальную магнитную структуру. Зонд магнитно-силового микроскопа работает подобно считывающей головки винчестера или магнитофона. Сканирующие микроскопы позволили впервые увидеть объекты размером с атом.</p>
<p>Раздел 5</p>	<p>Основные гетерогенные процессы формирования наноструктурированных объектов</p> <p>Тема 5.1. Особенности гетерогенных процессов.</p> <p>Под гетерогенными процессами понимают технологические процессы, происходящие на границе раздела фаз и формирующие гетерогенные системы. Гетерогенная система представляет собой термодинамическую систему, состоящую из различных по физическим и химическим свойствам частей или фаз, которые отделены друг от друга поверхностями раздела. Каждая из фаз при этом гомогенна и ее поведение подчиняется законам термодинамики.</p> <p>Тема 5.2. Химические гетерогенные процессы.</p> <p>Многие гетерогенные процессы не связаны с химическими реакциями и основаны только на физико-химических явлениях. Химические гетерогенные процессы включают в качестве этапа химические реакции, которые идут в одной из фаз после перемещения туда реагентов или на поверхности раздела фаз. На гетерогенные равновесия влияют температура, давление, концентрации реагентов и продуктов реакции. Равновесие гетерогенных процессов определяется константой равновесия химических реакций, законом распределения компонентов между фазами и правилом фаз. Равновесные концентрации компонентов в соприкасающихся фазах определяются законом распределения вещества, который устанавливает постоянное соотношение между равновесными концентрациями вещества в двух фазах системы при определенной температуре. Гетерогенные процессы</p> <p>Тема 5.3 Свойства гетерогенных процессов</p>

	<p>Механизм гетерогенных процессов сложнее гомогенных, так как взаимодействию реагентов, находящихся в разных фазах, предшествует их доставка к поверхности раздела фаз и массообмен между фазами. Поэтому скорость гетерогенных некаталитических процессов, как правило, меньше скорости гомогенных процессов. Массообмен между фазами осуществляется с помощью диффузии и характеризуется коэффициентом массообмена где D — коэффициент диффузии, δ - толщина пограничного слоя. Для расчета β, который служит описательной характеристикой и для более сложных механизмов переноса, используют критериальные уравнения. $\beta = D / \delta$ в период протекания гетерогенного процесса.</p>
<p>Раздел 6</p>	<p>Методы исследований и изучения физико-химических свойств нанообъектов и систем</p> <p>Тема 6.1. Назначение и состав</p> <p>Под гетерогенными процессами понимают технологические процессы, происходящие на границе раздела фаз и формирующие гетерогенные системы. Гетерогенная система представляет собой термодинамическую систему, состоящую из различных по физическим и химическим свойствам частей или фаз, которые отделены друг от друга поверхностями раздела. Каждая из фаз при этом гомогенна и ее поведение подчиняется законам термодинамики.</p> <p>Тема 6.2. Молекулярно-лучевая эпитаксия (МЛЭ).</p> <p>МЛЭ – технологический процесс эпитаксиального выращивания слоев, кристаллическая решетка которых повторяет решетку подложки. С помощью технологии МЛЭ выращивают гетероструктуры заданной толщины с моноатомногладкими гетерограницами и заданным профилем легирования. Следует отметить, что эпитаксия – это один из важнейших технологических процессов при создании микро- и наноструктур.</p> <p>Тема 6.3. Формирование структур на основе коллоидных растворов</p> <p>Коллоидные растворы или золи представляют собой жидкие системы с частицами дисперсной фазы или мицеллами перемешивающимися свободно и независимо в процессе броуновского движения. Размер частиц лежит в пределах 10 – 100 нм, сами частицы могут располагаться относительно друг друга ближе, чем на диаметр частицы. Метод формирования упорядоченных наноструктур непосредственно из наночастиц, сформированных в коллоидных растворах, дает возможность в широких пределах варьировать размеры частиц, а также изменять электронные свойства частиц.</p> <p>Тема 6.4. Золь-гель-технология</p> <p>Золь-гель-технология – представляет собой технологический процесс получения материалов, с определенными химическими и физико-химическими свойствами, включающий получение золя и перевод его в гель. В общем случае, золь-гель-технология на свойстве золя или коллоидного раствора и представляют собой структурированные системы с жидкой дисперсионной средой. Этим методом могут быть синтезированы нанокомпозиты на основе керамики гетерометаллического типа и др.</p>
<p>Раздел 7</p>	<p>Физические принципы построения технических средств исследования наноструктур</p> <p>Тема 7.1. Особенности применения средств диагностики наноструктур</p> <p>Современное развитие физики и технологии твердотельных наноструктур, проявляющееся в непрерывном переходе топологии элементов электронной техники от субмикронных к нанометровым</p>

	<p>размерам, потребовало разработку новых и совершенствование уже существующих средств и методов диагностики, а также создание образцов оборудования для анализа свойств и процессов в наносистемах. Сегодня существует огромное количество типов и видов средств диагностики. Для исследования наноструктур, получения наноразмерных систем и новых наноструктурных материалов с заданными свойствами, необходимо по-новому решать задачи исследования наноструктуры. Для этого требуется изменение традиционных методов, а также создание и развитие совершенно новых средств и методов, процессов присущих объектам нанометрового масштаба.</p> <p>Тема 7.2. Методы электронной спектроскопии</p> <p>Для химического анализа фотоэлектронной микроскопии, фотолюминесценции, которые в настоящее время активно развиваются с перспективами существенного повышения разрешающей способности используемых средств. Известно, что человек способен разглядеть объекты размером приблизительно 0.1 мм. С точки зрения физиологии глаз это простая оптическая система. В 1873 г. было сформулировано правило оптических систем, согласно которому минимальные размеры различаемых деталей рассматриваемого объекта, не могут быть меньше, чем длина волны света (400 нм). Разрешающая способность оптических микроскопов составляет приблизительно 200 нм. Поэтому возникла необходимость в создании систем с более высокой разрешающей способностью, а следовательно с видеосистемами, используемых меньшие длин волн, что и привело к созданию электронных микроскопов.</p> <p>Тема 7.3. Средства электронной микроскопии</p> <p>В настоящее время используются определенный комплекс методов диагностики наноструктур, среди них целесообразно выделить наиболее распространенные – все разновидности средств электронной микроскопии высокого разрешения. Это исторически первый прибор и метод реально обеспечивающий визуализацию структуры объектов с атомным разрешением.</p> <p>Тема 7.4 Назначение и свойства сканирующий электронного микроскопа</p> <p>Сканирующий электронного микроскопа который вплотную приближается по разрешению к атомному уровню, сохраняя возможность получения информации о физических, химических электрических и др. свойствах исследуемых нанообъектов.</p>
<p>Раздел 8</p>	<p>Электронная микроскопия. Основные методы сканирующей зондовой микроскопии</p> <p>Тема 8.1 Основные характеристики ЭМ</p> <p>Для изучения свойств нанообъектов ученые используют электронные микроскопы разных типов. Электронный микроскоп дает возможность получать сильно увеличенное изображение объектов, для освещения которых используются электроны. Некоторые электронные микроскопы позволяют увеличивать изображения до 2 млн. раз. В общем случае электронные микроскопы разделяются на два больших класса по методу применения: просвечивающие электронные микроскопы (ПЭМ) и сканирующие электронные микроскопы (СЭМ), также отдельным классом представлены сканирующие зондовые микроскопы (СЗМ) и другие.</p> <p>Тема 8.2. Основные преимущества электронных микроскопов.</p> <p>К основным свойствам микроскопов, прежде всего относятся: Увеличение микроскопа — это величина, которая указывает, во сколько</p>

раз больше выглядит изображение изучаемого объекта по сравнению с его реальным размером. Разрешение — способность оптического прибора измерять расстояние или угол между близкими объектами. Фотографию можно увеличить с помощью чрезвычайно мощных линз, но новых деталей на ней обнаружить не удастся. Дело в том, что увеличение уже полученного изображения не приводит к увеличению разрешения.

Тема 8.3 Система классификации ЭМ

Основы классификации электронных микроскопов - Для изучения свойств нанобъектов ученые используют электронные микроскопы разных типов: - в общем случае, электронные микроскопы разделяются на два больших класса по методу применения: просвечивающие электронные микроскопы (ПЭМ) и сканирующие электронные микроскопы (СЭМ), также отдельным классом представлены сканирующие зондовые микроскопы (СЗМ) и другие. Основные различия между этими типами микроскопов заключается в том, что в ПЭМ электронный пучок пропускается через очень тонкие слои исследуемого образца, с толщиной менее 1 мкм (как бы просвечивая слои насквозь). В сканирующих микроскопах электронный пучок последовательно отражается от маленьких участков поверхности. Структура поверхности и ее характерные особенности могут быть при этом определены регистрацией отраженных или вторичных электронов, возникающих при взаимодействии пучка с поверхностью.

Тема 8.4. Характеристика сканирующего электронного микроскопа (СЭМ)

В сканирующем электронном микроскопе сфокусированный пучок электронов используется для сканирования поверхности тонких и толстых образцов. Полученные снимки дают визуальное представление о трехмерной структуре изучаемого объекта. Итоговое изображение складывается из точек, полученных благодаря последовательному сканированию многих мест поверхности изучаемого объекта. СЭМ обеспечивает увеличение от 10 до 100 000, что позволяет рассматривать детали объекта величиной до 5-10 нм. Изображение исследуемого объекта на экранах мониторов СЭМ представляется в черно-белом цвете. При этом, более светлые места наблюдаемого объекта соответствуют большему количеству отраженных электронов, а менее светлые — меньшему. Обычно образцы с помощью СЭМ изучают в условиях вакуума. Однако, чтобы они не сжимались и не изменяли форму под действием вакуума, их нужно тщательно подготовить специальным образом.

Тема 8.5. Просвечивающий электронный микроскоп

В отличие от СЭМ, который способен анализировать только поверхность объекта, ПЭМ может заглянуть внутрь образца. Широкий пучок электронов проходит сквозь тонкий образец и образует картинку его внутреннего строения. Пучок электронов в ПЭМ фокусируется с помощью магнитных линз, как свет в оптическом микроскопе фокусируется с помощью стеклянных линз. ПЭМ похож на обычный оптический микроскоп, поскольку он может просвечивать только очень тонкие образцы. Причем на полученном изображении более темные места соответствуют большему поглощению электронов, а менее темные — меньшему. Многие биологические объекты состоят из углерода, азота, кислорода и водорода. Плотность их компонентов не настолько отличается, чтобы их можно было различить с помощью ПЭМ. В таких случаях биологи с помощью специальных химических процедур добавляют в образец краску с атомами тяжелых металлов, которые связываются с определенными атомами и молекулами и образуют четкое

	<p>изображение.</p> <p>При этом, с помощью ПЭМ можно рассматривать объекты, в 1000 раз меньшие, чем объекты, доступные для просмотра с помощью оптического микроскопа, и в 500 000 раз меньшие, чем невооруженным глазом. Разрешение ПЭМ равно примерно 0,1—0,2 нм. Именно на таком расстоянии друг от друга находятся атомы в твердых телах.</p>
Раздел 9	<p>Туннельный эффект и сканирующая туннельная микроскопия</p> <p>Тема 9.1. Физический смысл туннельного эффекта</p> <p>Физический смысл туннельного эффекта заключается в прохождении через потенциальный барьер электрона (микрочастицы), энергия которой меньше, чем высота барьера. Строгое объяснение этого эффекта дает квантовая механика (исходя из неопределенности импульса микрочастицы в области барьера). Еще в XVII в. И. Ньютон сформулировал законы классической механики, что стало великим событием в истории физики. Это объясняется «волновой природой» электронов, а само название возникло из-за того, что, с точки зрения внешнего наблюдателя классической физики (и здравого смысла!), эффект выглядит совершенно непонятным и напоминает ситуацию, при которой электрон как бы находит в стене какой-то «туннель» и проскакивает через него (в качестве стены выступает электростатический потенциал ядра).</p> <p>Тема 9.2. Практическое применение туннельного эффекта</p> <p>Туннельный эффект уже давно весьма эффективно используется в науке и технике. В частности, на нем основан принцип действия известных туннельных диодов и многих других полупроводниковых приборов. В настоящее время эффект широко применяется в сверхчувствительных записывающих головках магнитных дисков, сканирующих туннельных микроскопах, приборах ядерной физики и т.д. Процесс носит случайный характер, но его вероятность может быть вычислена по законам квантовой механики совершенно точно (при этом электрон рассматривается одновременно и в качестве волны, и в качестве частицы). Именно волновые характеристики поведения электрона позволяют ему преодолевать энергетический барьер. При большом количестве таких электронов можно, естественно, говорить о туннельном токе.</p> <p>Тема 9.3. В туннельном микроскопе измеряется величина электрического тока, проходящего между сканирующим зондом и поверхностью. В зависимости от того, как проводятся измерения, микроскоп можно использовать либо для проверки локальной геометрии (насколько поверхность локально выступает вперед), либо для измерения локальных характеристик электропроводности. Туннельная микроскопия — это, по сути, первый разработанный метод зондового сканирования, и за его открытие Г. Бинниг (G. Binnig) и Г. Рорер (H. Rohrer) в 1986 г. получили Нобелевскую премию.</p>
Раздел 10	<p>Основы механики и конструкций средств измерений наноструктурированных объектов</p> <p>Тема 10.1. Область применения наноструктурированных объектов</p> <p>Размеры нанообъектов находятся в диапазоне от 0,1 до 100 нм. Этот диапазон принято называть <i>наномасштабом</i>. Согласно проекту Технической спецификации ISO/DTS 12805 произведенные нанообъекты разделяют по признаку геометрической формы на три категории: частицы - объекты, имеющие три размера в наномасштабе;</p>

волокна - объекты, имеющие два размера в наномасштабе; пластины - объекты, имеющие один размер в наномасштабе.

Большинство нанообъектов имеет углеродную основу. Долгие годы считалось, что углерод может образовывать только две аллотропные кристаллические структуры - алмаз и графит. Аллотропия - существование одного и того же химического элемента в несхожих формах. Однако в последние годы были обнаружены еще две аллотропные формы углерода, имеющие большую перспективу использования в нанотехнологиях.

Тема 10.2. Свойства острейного зондового датчика.

Одним из объектов нанометрологии является острейный зондовый датчик, используемый в сканирующей зондовой микроскопии для исследования размеров и свойств поверхности нанообъектов. Датчик состоит из полупроводникового кристалла (чипа), гибкой консоли (собственно кантилевера) и твердотельного зонда (иглы). Обычно этот датчик называют кантилевером.

Геометрически зонд представляет собой иглу конической или призматической формы с углом при вершине $20 - 25^\circ$ и высотой около 10 мкм. Наиболее важная характеристика зонда - радиус закругления острия r , значение которого обычно не более 1 - 25 нм. Величина радиуса r влияет на размеры области предельно достижимого разрешения. Сложность изготовления зонда существенно увеличивается с уменьшением радиуса острия.

Тема 10.3. Технические характеристики датчика наноперемещений

В качестве измерительных преобразователей в нанотехнологии используется датчик наноперемещений, представляющий собой совокупность механического элемента и транзистора. Механическим элементом является брусок (наноэлектромеханическая переключатель) из арсенида галлия, закрепленный с обоих концов. Размеры бруска: длина 3 мкм, ширина 250 нм, толщина 200 нм. Детектор перемещения - одноэлектронный транзистор - расположен на расстоянии 250 нм от бруска. Транзистор электрически соединен с бруском через емкость. Внешнее напряжение, приложенное к бруску, заставляет его вибрировать. При перемещении бруска относительно детектора изменяется ток, протекающий через транзистор.

Тема 10.4. Назначение датчика силы и массы

В датчике силы и массы в качестве первичного измерительного преобразователя использована однослойная углеродная нанотрубка диаметром 1 - 4 нм, расположенная между двумя золотыми электродами. Размеры канавки, через которую протянута нанотрубка: ширина 500 нм, длина 1,5 мкм. Большая упругость углеродной нанотрубки позволяет ей колебаться в широком диапазоне частот (от 3 до 200 МГц). Она может также работать в качестве транзистора, что позволяет определять частоту ее колебаний и смещение относительно положения покоя. Устройство работает в вакууме, поскольку на воздухе большое число молекул будет сталкиваться с нанотрубкой или даже абсорбироваться на ней. В зависимости от воздействия внешней силы на измерительный преобразователь он изменяет свое положение. Достигнутая чувствительность устройства позволяет измерять смещение в 0,5 нм.

Тема 10.5. Назначение и сфера применения зондового датчика

Зондовый датчик устройство, включающее твердотельный острейный зонд, гибкую пружинную консоль - кантилевер (англ. *cantilever* - консоль) и кристалл (держатель). В литературе это устройство нередко называют просто «кантилевером». Изгиб кантилевера с зондом регистрируется обычно с помощью отраженного лазерного пучка света и фотоприемника. Разрешающая способность сканирующих зондовых микроскопов определяется следующими параметрами кантилевера: радиус закругления острия иглы; высота иглы, аспектное соотношение

	<p>иглы, характеризуемое углом конуса; у наиболее совершенных кантилеверов аспектное соотношение достигает величины 15:1. Для изготовления кантилеверов используются полупроводниковые пластины (например, КДБ-12: кремний <i>p</i>-типа ориентации {100}). Роль изолирующего слоя выполняет диоксид кремния SiO₂. Консоль кантилевера формируется электрохимическим травлением в подогретом растворе щелочи КОН. В процессе травления заготовка медленно поднимается из раствора щелочи для получения конической (или призматической) формы иглы с острым концом.</p> <p>Промышленностью освоены в серийном производстве десятки видов конструкции кантилеверов. Они выпускаются с одной, двумя, тремя или четырьмя консолями. Консоль может быть в плане прямоугольной или треугольной, длинной или короткой, с покрытием или без покрытия. Радиус закругления иглы зонда - от 1 до 25 нм..</p>
<p>Раздел 11</p>	<p>Особенности работы с электронным микроскопом</p> <p>Тема 11.1. Применение ПЭМ</p> <p>Наличие даже самых незначительных загрязнений могут существенно исказить результаты. Для просвечивающего электронного микроскопа объект готовится в виде тонких пленок, в качестве которых могут служить различного рода лаки, пленки металлов и полупроводников, ультратонкие срезы биологических препаратов. Кроме того, объектами исследования могут быть тонко измельченные (диспергированные) совокупности частиц. Обычно в просвечивающих микроскопах, работающих при напряжениях 50-100 кВ, толщина объектов не может превышать 200 Å (для неорганических веществ) и 1000 Å (для органических).</p> <p>Тема 11.2. Работа с биологическими объектами</p> <p>Биологические объекты в большинстве случаев приходится контрастировать, т.е. “окрашивать” (солями тяжелых металлов), оттенять напылением металлов (платиной, палладием и др.) и использовать ряд других приемов. Необходимость контрастирования вызвана тем, что большинство биологических объектов содержит атомы легких элементов (с малым атомным номером) - водород, углерод, азот, кислород, фосфор и т.д. в то же время толщина объектов, интересных для биологии и медицины, составляет величину порядка 50 Å.</p> <p>Тема 11.3. Методы исследования влажных объектов</p> <p>При наблюдении электронно-микроскопическими методами влажных объектов (в том числе живых клеток) используются вакуумно-изолированные газовые микрокамеры. Объекты исследования помещаются в электронных микроскопах на тончайшие пленки - подложки, которые крепятся на специальных сетках, изготавливаемых обычно из меди электролитическим способом. Эти пленки должны удовлетворять целому ряду требований, поскольку относительно большая толщина их, а также сильное рассеяние ими электронов приводят к резкому ухудшению качества изображения объекта. Кроме того, материал таких пленок должен обладать хорошей теплопроводностью и высокой стойкостью к электронной бомбардировке.</p> <p>Тема 11.4. Область применения СЗМ и ПЭМ</p> <p>В общем случае, методы сканирующей зондовой и просвечивающей электронной микроскопии позволяют изучать поверхность и внутреннюю структуру исследуемых объектов. К примеру, определять тип и параметры кристаллической решетки матрицы и фаз, определять ориентационные соотношения между фазой и матрицей, изучать строение границ и определять кристаллографическую ориентацию отдельных частиц</p>

<p>Раздел 12</p>	<p>Безопасность нанотехнологий и проблемы охраны окружающей среды</p> <p>Тема 12.1. Условия применения объектов нанотехнологий Вопросы безопасности применения нанотехнологий и воздействие их на состояние окружающей среды естественно весьма актуальны, представляют интерес для ученых и специалистов, в настоящее время слабо изучены. Имеющийся в настоящее время опыт развития нанотехнологий показал, что они могут представлять опасность для человека и окружающей среды, причем опасность эта часто своевременно не выявляется. Примером тому могут быть изменение уровня радиации по сравнению с природным уровнем, повышенная токсичность подобная применению асбеста или средства ДДТ, или концентрация наночастиц в воздухе, когда нормируется весовая концентрация при определенном фоне.</p> <p>Тема 12.2. Характеристика наночастиц Наноматериалы в окружающей среде, сводка актуальных проблем: источники и стоки наночастиц, свободные и связанные искусственные наночастицы, взаимодействие наночастиц с природными материалами, наночастицы как загрязнители окружающей среды, перенос наночастиц в природных условиях, наночастицы как переносчики загрязнителей.</p> <p>Тема 12.3. Результаты превышения концентрации При значительном повышении концентрации микрочастиц в воздухе наблюдается увеличение:</p> <ul style="list-style-type: none"> - смертности от неспецифических причин; - приступов астмы и использования противоастматических лекарств; - смертности пациентов, страдающих хроническими заболеваниями легких; - осложнений в течение хронических заболеваний легких; - смертности от сердечно - сосудистых заболеваний и госпитализации по поводу последних. <p>Тема 12.4. Методы снижения эффективности воздействия применения наночастиц Основные методы, необходимые для снижения воздействия на экологию: принципы предосторожности, обязательное специальное регламентирование нанотехнологий, охрана здоровья и безопасности населения и рабочих, производящих наноматериалы Для разработки регламентирующих документов по экологическим проблемам использования нанотехнологий и наноматериалов необходимы систематические исследования по оценке жизненного цикла наноматериалов, включая их разработку, производство, транспортировку, применение изделий, переработку и утилизацию: перед продвижением продукта на рынок необходимо оценить воздействие полного жизненного цикла наноматериалов на окружающую среду, здоровье и безопасность людей.</p> <p>Тема 12.5. Воздействие наночастиц на окружающую среду Нанотехнологии могут оказывать как положительное, так и отрицательное воздействие на окружающую среду и здоровье населения, поэтому параллельно с созданием новых классов наноматериалов и изучением их свойства происходит формирование государственной политики в сфере нанотехнологий и стратегии их дальнейшего развития в мире в целом и в каждой отдельной стране в отдельности. Опасения относительно токсичности наноматериалов напрямую связаны с их размерами, обуславливающими высокую химическую активность и высокую способность проникновения в организм. Наночастицы настолько малы, что легко транспортируются как в человеческое тело, так и в окружающую среду. Например, некоторые наночастицы (типа меди или серебра) могут быть вредными для водной среды. Исследователи проанализировали пробы, взятые из почв и водоемов Германии и Швеции, обратив особое внимание в первую очередь на гуминовые вещества, состоящие из нанометровых частиц, а также</p>
------------------	---

	<p>наночастицы оксида железа размером от 1 до 40 нм. Ученые обнаружили, что эти железистые частицы играют для свинца роль своеобразного «такси». По утверждению авторитетного журнала The Economist, каждый человек вдыхает 106 наночастиц в минуту.</p> <p>Тема 12.6. Меры, применяемые в целях снижения негативного воздействия на среду</p> <p>Ряд исследований показывает, что наночастицы, получающиеся при сгорании (combustion-derived nanoparticles, CDNP), имеют способность накапливаться в носовых путях, что может вызвать различные заболевания. Наночастицы проникают в организм через дыхательные пути, желудочно-кишечный тракт и кожу. Наибольшую опасность представляют наночастицы, проникающие в организм при вдыхании. Несомненно, с наночастицами люди сталкивались задолго до появления нанотехнологии: дым, в том числе табачный, смог и т.д. Силикоз, возникающий вследствие вдыхания угольной пыли, рак легких при контакте с асбестом - давно открытые объекты клетки. Очень важным является дозиметрия наночастиц в живых организмах, что требует специальных прецизионных приборов и специальных методик. Поскольку проявление специфических, в том числе и токсикологических, свойств наночастицами связано с их характерным для них очень высоким соотношением поверхности к объему или массе, то эта величина S/V часто принимается за физическую меру потенциального воздействия на живую систему, конечно, очень важно химическое строение, геометрия частиц, распределение их по размерам.</p>
Примечание:	Проведение всех лекционных занятий возможно в интерактивной форме демонстрации слайдов ключевых положений каждой лекции.

4.3. Практические (семинарские) занятия

Темы практических занятий и их трудоемкость приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Практические занятия и их трудоемкость

№ п/п	Темы практических занятий	Формы практических занятий	Трудоемкость, (час)	Из них практической подготовки, (час)	№ раздела дисциплины
Семестр 6					
	Проведение анализа нанобъектов, полученных с помощью технологий «сверху вниз»	Изучение и анализ внешней структуры нанобъектов и подготовка ЭМ к работе в режиме оптической регистрации посредством сканирования	2	1	1
	Проведение анализа нанобъектов, полученных с помощью технологий «снизу вверх»	Изучение и анализ внешней структуры нанобъектов и подготовка ЭМ к работе в режиме оптической регистрации посредством сканирования	2	1	1

	Исследование поверхности методом атомно-силовой микроскопии	Проведение внешнего осмотра и подготовка СЗМ к работе в режиме атомно-силовой микроскопии	4	2	2
	Исследование поверхности методом атомно-силовой микроскопии	Проведение внешнего осмотра и подготовка АСМ к работе в режиме атомно-силовой микроскопии	4	2	4
	Исследование поверхности методом тунельно-силовой микроскопии	Проведение внешнего осмотра и подготовка ТСМ к работе в режиме атомно-силовой микроскопии	6	4	6
	Исследование поверхности методом тунельно-силовой микроскопии	Проведение внешнего осмотра и подготовка ТСМ к работе в режиме магнитно-силовой микроскопии	6	4	8
	Исследование поверхности методом атомно-силовой микроскопии	Обработка результатов исследования образца и анализ результатов измерений	3	2	4
Всего			27	16	

4.4. Лабораторные занятия

Темы лабораторных занятий и их трудоемкость приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Лабораторные занятия и их трудоемкость

№ п/п	Наименование лабораторных работ	Трудоемкость, (час)	Из них практической подготовки, (час)	№ раздела дисциплины
Учебным планом не предусмотрено				
Всего				

4.5. Курсовое проектирование/ выполнение курсовой работы

Учебным планом не предусмотрено

4.6. Самостоятельная работа обучающихся

Виды самостоятельной работы и ее трудоемкость приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Виды самостоятельной работы и ее трудоемкость

Вид самостоятельной работы	Всего, час	Семестр 6, час
1	2	3
Изучение теоретического материала дисциплины (ТО)	10	10
Подготовка к текущему контролю успеваемости (ТКУ)	4	4
Домашнее задание (ДЗ)	4	4
Подготовка к промежуточной аттестации (ПА)	3	3
Всего:	21	21

5. Перечень учебно-методического обеспечения

для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)

Учебно-методические материалы для самостоятельной работы обучающихся указаны в п.п. 7-11.

6. Перечень печатных и электронных учебных изданий

Перечень печатных и электронных учебных изданий приведен в таблице 8.

Таблица 8– Перечень печатных и электронных учебных изданий

Шифр/ URL адрес	Библиографическая ссылка	Количество экземпляров в библиотеке (кроме электронных экземпляров)
https://www.booktech.ru/books/nanotehnologii	Физические основы микро- и нанозлектроники, Дурнаков А.А., /учебное пособие/, УрФУ, 2020, -252 с.	
https://obuchalka.org/knigi-po-nanotehnologiyam	Физические основы нанотехнологий и наноматериалы, Смирнов В.И. /учебное пособие/, Ульяновск, УлГТУ, 2017, 240 с.	
https://obuchalka.org/knigi-po-nanotehnologiyam	Базовые технологии микро- и нанозлектроники: Воротынцев В.М., Скупов В.Д., -М, , Проспект, 2017, - 519 с.	
https://obuchalka.org/knigi-po-nanotehnologiyam	Материалы и методы нанотехнологий, Старостин В.В. /учебное пособие/, -М, Бином, 2016, -431с.	
https://obuchalka.org/knigi-po-nanotehnologiyam	Наноматериалы: учебное пособие/, Д.И. Рыжонков, В.В. Лёвина, Э.Л. Дзидзигури, -М, Бином, 2017, -343 с.	
https://obuchalka.org/knigi-po-nanotehnologiyam	Вычислительные нанотехнологии, Попов А.М., /учебное пособие/, Кно-Рус, 2017, -126 с.	

7. Перечень электронных образовательных ресурсов

информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

Перечень электронных образовательных ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины приведен в таблице 9.

Таблица 9 – Перечень электронных образовательных ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

URL адрес	Наименование
http://science.guap.ru	Научная и инновационная деятельность ГУАП
http://www.consultant.ru	Справочно-правовая система «Консультант Плюс»
http://www.garant.ru	Информационно-правовой портал «ГАРАНТ»
http://list-of-lit.ru/nano/nnotechnologii	Список литературы по нанотехнологии

8. Перечень информационных технологий

8.1. Перечень программного обеспечения, используемого при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.

Перечень используемого программного обеспечения представлен в таблице 10.

Таблица 10– Перечень программного обеспечения

№ п/п	Наименование
	Не предусмотрено

8.2. Перечень информационно-справочных систем, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Перечень используемых информационно-справочных систем представлен в таблице 11.

Таблица 11– Перечень информационно-справочных систем

№ п/п	Наименование
	Не предусмотрено

9. Материально-техническая база

Состав материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине, представлен в таблице 12.

Таблица 12 – Состав материально-технической базы

№ п/п	Наименование составной части материально-технической базы	Номер аудитории (при необходимости)
1	Мультимедийная лекционная аудитория	
2	Специализированная лаборатория «Лаборатория исследований наноматериалов»	Территория ФБУ «Тест - С.-Петербург»

10. Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

10.1. Состав оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине приведен в таблице 13.

Таблица 13 – Состав оценочных средств для проведения промежуточной аттестации

Вид промежуточной аттестации	Перечень оценочных средств
Экзамен	Список вопросов к экзамену; Экзаменационные билеты; Задачи;

10.2. В качестве критериев оценки уровня сформированности (освоения) компетенций обучающимися применяется 5-балльная шкала оценки сформированности компетенций, которая приведена в таблице 14. В течение семестра может использоваться 100-балльная шкала модульно-рейтинговой системы Университета, правила использования которой, установлены соответствующим локальным нормативным актом ГУАП.

Таблица 14 –Критерии оценки уровня сформированности компетенций

Оценка компетенции 5-балльная шкала	Характеристика сформированных компетенций
«отлично» «зачтено»	<ul style="list-style-type: none"> – обучающийся глубоко и всесторонне усвоил программный материал; – уверенно, логично, последовательно и грамотно его излагает; – опираясь на знания основной и дополнительной литературы, тесно привязывает усвоенные научные положения с практической деятельностью направления; – умело обосновывает и аргументирует выдвигаемые им идеи; – делает выводы и обобщения; – свободно владеет системой специализированных понятий.
«хорошо» «зачтено»	<ul style="list-style-type: none"> – обучающийся твердо усвоил программный материал, грамотно и по существу излагает его, опираясь на знания основной литературы; – не допускает существенных неточностей; – увязывает усвоенные знания с практической деятельностью направления; – аргументирует научные положения; – делает выводы и обобщения; – владеет системой специализированных понятий.
«удовлетворительно» «зачтено»	<ul style="list-style-type: none"> – обучающийся усвоил только основной программный материал, по существу излагает его, опираясь на знания только основной литературы; – допускает несущественные ошибки и неточности; – испытывает затруднения в практическом применении знаний направления; – слабо аргументирует научные положения; – затрудняется в формулировании выводов и обобщений; – частично владеет системой специализированных понятий.
«неудовлетворительно» «не зачтено»	<ul style="list-style-type: none"> – обучающийся не усвоил значительной части программного материала; – допускает существенные ошибки и неточности при рассмотрении проблем в конкретном направлении; – испытывает трудности в практическом применении знаний; – не может аргументировать научные положения; – не формулирует выводов и обобщений.

10.3. Типовые контрольные задания или иные материалы.

Вопросы (задачи) для экзамена представлены в таблице 15.

Таблица 15 – Вопросы (задачи) для экзамена

№ п/п	Перечень вопросов (задач) для экзамена	Код индикатора
1	Основные идеи и понятия нанотехнологий данные в работах Н. Танигучи.	ПК-2.3.1
2	В какой области промышленного производства впервые стали	ПК-5.3.1

	реализовывать идеи нанотехнологий	
3	Идея лекции Э. Шредингера «Что такое жизнь с точки зрения физики?»	ПК-5.3.1
4	Основные положения лекции, прочитанной Р. Фейнманом в 1959 г.	ПК-6.3.1
5	Основные понятия и определения в области нанотехнологий	ПК-8.3.1
6	Чем наноструктурированные материалы отличаются от классических материалов?	ПК-8.3.1
7	Основные особенности наноразмерных величин, их количественное значение.	ПК-8.3.1
8	Единицы измерения и наименования в области нанотехнологий	ПК-2.3.1
9	Линейные размеры особей животного мира и искусственных объектов в сравнительных значениях нанотехнологий	ПК-5.3.1
10	Основные события истории развития нанотехнологий в период с 400 г. до н.э. по 1959 г.	ПК-5.У.1
11	Основные события истории развития нанотехнологий в период с 1959 по н/в.	ПК-6.3.1
12	Разные подходы к научному определению термина «нанотехнология»	ПК-8.3.1
13	О работах Ж.И. Алферова в области нанотехнологий	ПК-8.У.1
14	Основные идеи Э. Дрекслера о роле нанотехнологий в развитии современного общества, изложенные в книге «Машины созидания»	ПК-2.3.1
15	Основные оценки ожидаемых параметров наномеханических устройств.	ПК-5.3.1
16	Характеристика и принцип работы наноустройства в живых организмах (на примере молекулы «АТФ Синтаза»).	ПК-5.У.1
17	Углерод в природе, в чем заключается его особая роль?	ПК-6.3.1
18	Простейшие конструкции приборов и узлов отдельных различных наноустройств	ПК-8.3.1
19	Возможные пути применения приборов и машин МНТ	ПК-8.У.1
20	Принципы самоорганизации, присущие наиболее распространенным объектам нанотехнологий	ПК-2.3.1
21	Принципы самосборки, присущие наиболее распространенным объектам нанотехнологий	ПК-5.3.1
22	Использование самоорганизации в НТ. Основные свойства самоорганизующихся систем	ПК-5.У.1
23	Наноматериалы, наименования, назначение, основные определения, какие объекты к ним относятся?	ПК-6.3.1
24	Основные типы наноматериалов, разделение по признакам измерений и размерности	ПК-8.3.1
25	Основы классификации и типы структур наноматериалов	ПК-8.У.1
26	Основные категории наноматериалов	ПК-2.3.1
27	Особенности свойств наноматериалов, направления их использования	ПК-5.У.1
28	Основные области применения объектов наноструктурных объектов	ПК-6.3.1
29	Краткая характеристика конструкционных, инструментальных и износостойких материалов	ПК-8.3.1

30	Использование наноматериалов в электронной технике Назначение, краткая характеристика электронного микроскопа	ПК-8.У.1
32	Физический смысл свойств ЭМ: увеличение, разрешение, разрешающая способность.	ПК-2.3.1
33	Условия формирования и свойства электронного луча микроскопа	ПК-5.3.1
34	Физический смысл хроматической аберрации	ПК-5.У.1
35	В чем различие характеристик разрешения оптического и электронного микроскопов	ПК-6.3.1
36	Характеристика разрешающей способности ЭМ	ПК-8.3.1
37	Назначение и устройство и свойства источника электронов	ПК-8.У.1
38	Конструктивные особенности системы освещения ЭМ	ПК-2.3.1
39	Устройство системы коррекции астигматизма в ЭМ	ПК-5.3.1
40	Принцип работы и устройство системы изображения ЭМ	ПК-5.У.1
41	. Блок-схема и принцип работы микроскопа БСОМ	ПК-6.3.1
42	Блок-схема и принцип действия Оже-спектрометра	ПК-8.3.1
43	Фотоэлектронная рентгеновская спектроскопия, блок-схема, принцип действия	ПК-5.3.1
44	Фотоэлектронная рентгеновская спектроскопия, блок-схема, принцип действия	ПК-5.У.1
45	Принцип работы рамановской спектроскопии, блок-схемы процесса измерений.	ПК-6.3.1
46	Назначение принцип действия фотолюминесцентной спектроскопии	ПК-8.3.1
47	Назначение и особенности электролюминесцентной спектроскопия (ЭЛС)	ПК-8.У.1
48	Физические принципы действия методов и средств масс-спектрометрии	ПК-2.3.1
49	Физическая сущность туннельного эффекта в радиоэлектронике	ПК-5.У.1
50	Основные свойства объектов молекулярного уровня. Свойства «химического» метода при проектировании молекулярных приборов.	ПК-6.3.1

Вопросы (задачи) для зачета / дифф. зачета представлены в таблице 16.
Таблица 16 – Вопросы (задачи) для зачета / дифф. зачета

№ п/п	Перечень вопросов (задач) для зачета / дифф. зачета	Код индикатора
	Учебным планом не предусмотрено	

Перечень тем для курсового проектирования/выполнения курсовой работы представлены в таблице 17.

Таблица 17 – Перечень тем для курсового проектирования/выполнения курсовой работы

№ п/п	Примерный перечень тем для курсового проектирования/выполнения курсовой работы
	Учебным планом не предусмотрено

Вопросы для проведения промежуточной аттестации в виде тестирования представлены в таблице 18.

Таблица 18 – Примерный перечень вопросов для тестов

№ п/п	Примерный перечень вопросов для тестов	Код индикатора
	1. Развитие сферы нанотехнологий в стране и за рубежом. Начало вопроса: В какой период времени человечество стало применять продукты нанотехнологий: - в период до нашей эры; - во II веке н/э; - в XVIII в.; - в XIX веке.	ПК-2.3.1
	2. Начало вопроса: Что послужило приоритетом в развитии нанотехнологий: - создание периодической таблицы химических элементов; - открытие квантовой механики,; - открытие атомной модели строения вещества; экспериментальное подтверждение идеи атомно-молекулярной теории	ПК-5.3.1
	3.Начало вопроса: назовите размерность нанометрового диапазона: - 10^{-3} м; - 10^{-5} м; - 10^{-6} м; - 10^{-10} м; - 10^{-7} м; - 10^{-9} м	ПК-6.3.1
	4. Начало вопроса: Величина 1 нм (для наглядности) во сколько раз меньше толщины человеческого волоса: - в 1000 раз; - в 10 тыс. раз; - в 100 тыс. раз; - в 200 тыс. раз	ПК-6.3.1
	5.Начало вопроса: Что такое «нано». Место наноразмерных объектов в окружающей среде, какие наноразмерные объекты попадают в нанодиапазон и примерная их размерность (для сравнения): - размерность биоклетки; - толщина человеческого волоса; - кишечная палочка; - мин. Размер элемента БИС; - размерность вируса; - диаметр атома водорода.	ПК-5.3.1
	6. Кого из известных ученых можно считать основоположником развития нанотехнологий как науки Начало вороса: - Э. Шредингер; - Ф.Картер; - Н. Танигучи; - Э. Дрекслер; - Р. Фейнман; - Ж. Алферов	ПК-2.3.1
	7. Исследование микро- и наноструктур. . Начало вопроса: Какие методы диагностики наиболее распространены для исследования физических параметров и характеристик нанообъектов: - электронная микроскопия высокого разрешения; - отражательная электронная микроскопия; - микроскопия медленных электронов.; - оптическая микроскопия.	ПК-5.3.1
	8. Важнейшие технологические достижения во второй половине двадцатого столетия. Начало вопроса: Что способствовало, в наибольшей степени, интенсивному развитию нанотехнологий в стране и за рубежом? Начало вопроса:	ПК-6.3.1

	<ul style="list-style-type: none"> - технология создания электровакуумных приборов; - создание микромодульных элементов; - создание интегральных печатных плат; - создание полупроводниковых элементов электронной техники. <p>9. Физическая сущность закона Гордона Мура. Начало вопроса: В чем заключается смысл эмпирического закона Мура?</p> <ul style="list-style-type: none"> - объяснят принцип получения черно-белого изображения кадра телевизора; - закон объясняет принцип функционирования оптоволоконного элемента; - предельные границы быстродействия компьютера; - предельное число размещения транзисторов на печатной плате компьютера. <p>10. Средства измерения для исследования наноструктур. Начало вопроса: В чем заключается основные достоинства электронного микроскопа?</p> <ul style="list-style-type: none"> - улучшены весовые и габаритные характеристики приборов, - возможность цифрового представления результатов анализа; - более совершенная, по сравнению с оптическим микроскопом, система получения изображения наблюдаемого объекта; - возможность получения более разнообразной информации об объекте; - пределы увеличения исследуемого объекта. <p>11. Основные параметры и характеристики микроскопов. Начало вопроса: Назовите предельные значения характеристики увеличения оптического микроскопа:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 100 раз; - 200 раз; - 400 раз; - 700 раз; - 1000 раз; - 1500 раз <p>12. Основные параметры и характеристики микроскопов. Начало вопроса: Предельные значения увеличения электронного микроскопа:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 1000 раз; - 2000 раз; - 5000 раз; - 8000 раз; - 1млн. раз; - 2 млн. раз <p>13. Основные параметры и характеристики микроскопов. Начало вопроса: Чем определяется разрешающая способность оптического микроскопа:</p> <ul style="list-style-type: none"> - уровнем освещенности рабочей линзы; - величиной фокусного расстояния; - совершенством отклоняющей системы; - длиной волны света. <p>14. Основные параметры и характеристики микроскопов. Начало вопроса: Чем определяется разрешающая способность электронного микроскопа:</p> <ul style="list-style-type: none"> - конструкцией системы изображения микроскопа; - устройством электронной пушки, - системой считывания результатов обработки измерений; - расстоянием пролета электрона; - скоростью пролета электрона. <p>15. Преимущества электронного микроскопа. Начало вопроса: Чем объясняется высокая разрешающая способность электронного микроскопа:</p> <ul style="list-style-type: none"> - геометрическими размерами рабочей зоны; - использованием электронного потока вместо светового потока; - длиной волны электрона. <p>16. Основные параметры и характеристики электронных микроскопов. Начало вопроса: От чего зависит величина волны электронного потока в микроскопе:</p> <ul style="list-style-type: none"> - габариты рабочей зоны; - величиной напряжения на аноде; - конструкцией системы изображения микроскопа; 	<p>ПК-5.3.1</p> <p>ПК-2.3.1</p> <p>ПК-5.3.1</p> <p>ПК-2.3.1</p> <p>ПК-6.3.1</p> <p>ПК-2.3.1</p> <p>ПК-2.3.1</p> <p>ПК-2.3.1</p> <p>ПК-6.3.1</p>
--	---	---

	- архитектуры отклоняющей системы микроскопа	
--	--	--

Перечень тем контрольных работ по дисциплине обучающихся заочной формы обучения, представлены в таблице 19.

Таблица 19 – Перечень контрольных работ

№ п/п	Перечень контрольных работ
	Не предусмотрено

10.4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания индикаторов, характеризующих этапы формирования компетенций, содержатся в локальных нормативных актах ГУАП, регламентирующих порядок и процедуру проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся ГУАП.

11. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

11.1. Методические указания для обучающихся по освоению лекционного материала Основное назначение лекционного материала – логически стройное, системное, глубокое и ясное изложение учебного материала. Назначение современной лекции в рамках дисциплины не в том, чтобы получить всю информацию по теме, а в освоении фундаментальных проблем дисциплины, методов научного познания, новейших достижений научной мысли. В учебном процессе лекция выполняет методологическую, организационную и информационную функции. Лекция раскрывает понятийный аппарат конкретной области знания, её проблемы, дает цельное представление о дисциплине, показывает взаимосвязь с другими дисциплинами.

Планируемые результаты при освоении обучающимися лекционного материала:

- получение современных, целостных, взаимосвязанных знаний, уровень которых определяется целевой установкой к каждой конкретной теме;
- получение опыта творческой работы совместно с преподавателем;
- развитие профессионально-деловых качеств, любви к предмету и самостоятельного творческого мышления.
- появление необходимого интереса, необходимого для самостоятельной работы;
- получение знаний о современном уровне развития науки и техники и о прогнозе их развития на ближайшие годы;
- научиться методически обрабатывать материал (выделять главные мысли и положения, приходить к конкретным выводам, повторять их в различных формулировках);
- получение точного понимания всех необходимых терминов и понятий.

Лекционный материал может сопровождаться демонстрацией слайдов и использованием раздаточного материала при проведении коротких дискуссий об особенностях применения отдельных тематик по дисциплине.

Структура предоставления лекционного материала:

- Лекции согласно разделам (табл.3) и темам (табл. 4).

Учебное пособие по освоению лекционного материала имеется в изданном виде:

- Сканирующая микроскопия: /Учебное пособие/ Т.П. Мишура, А.Г. Грабарь , - СПб.; ГУАП, 2016, - 107 с.

- Наноматериалы и технологии: / Учебное пособие/ Т.П. Мишура, А.Г. Грабарь , - СПб.; ГУАП, 2015, - 107 с.

Материалы для освоения имеются в электронном виде

11.2. Методические указания для обучающихся по прохождению практических занятий

Практическое занятие является одной из основных форм организации учебного процесса, заключающаяся в выполнении обучающимися под руководством преподавателя комплекса учебных заданий с целью усвоения научно-теоретических основ учебной дисциплины, приобретения умений и навыков, опыта творческой деятельности.

Целью практического занятия для обучающегося является привитие обучающимся умений и навыков практической деятельности по изучаемой дисциплине.

Планируемые результаты при освоении обучающимися практических занятий:

- закрепление, углубление, расширение и детализация знаний при решении конкретных задач;
- развитие познавательных способностей, самостоятельности мышления, творческой активности;
- овладение новыми методами и методиками изучения конкретной учебной дисциплины;
- выработка способности логического осмысления полученных знаний для выполнения заданий;
- обеспечение рационального сочетания коллективной и индивидуальной форм обучения.

Требования к проведению практических занятий

Практические занятия проводятся в следующих формах:

- моделирование ситуаций применительно к профилю профессиональной деятельности обучающихся;
- решение ситуационных задач
- групповая дискуссия.

Преподаватель при проведении занятий выполняет функцию консультанта, который направляет коллективную работу студентов на принятие правильного решения. Занятие осуществляется в диалоговом режиме, основными субъектами которого являются студенты.

На основании индивидуального задания студенты:

- оценивают условия труда на рабочем месте;
- делают выводы о необходимости рационализации рабочего места;
- разрабатывают технические средства улучшения условий труда и обеспечения безопасности трудового процесса.

Перечень исходных данных для индивидуальных заданий студентам и справочный материал, необходимый для решения практических задач, представлен в учебном пособии к выполнению практических работ.

Темы практических работ приведены в табл.5

Материалы для освоения имеются в электронном виде

Курс в системе LMS <https://lms.guap.ru/new/course/view.php?id=263>

11.3. Методические указания для обучающихся по прохождению самостоятельной работы

В ходе выполнения самостоятельной работы, обучающийся выполняет работу по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия.

Для обучающихся по заочной форме обучения, самостоятельная работа может включать в себя контрольную работу.

В процессе выполнения самостоятельной работы, у обучающегося формируется целесообразное планирование рабочего времени, которое позволяет им развивать умения и навыки в усвоении и систематизации приобретаемых знаний, обеспечивает высокий уровень успеваемости в период обучения, помогает получить навыки повышения профессионального уровня.

Методическими материалами, направляющими самостоятельную работу обучающихся являются:

- учебно-методический материал по дисциплине;
- методические указания по выполнению контрольных работ (для обучающихся по заочной форме обучения).
- 1. Подготовка лекционного материала по темам, представленным в таблице 3, и по темам, отмеченных в соответствии с литературой, представленной в таблице 9.
- 2. Подготовка к контрольным работам в соответствии с методическими указаниями

1.1. Методические указания для обучающихся по прохождению текущего контроля успеваемости.

Текущий контроль успеваемости предусматривает контроль качества знаний обучающихся, осуществляемого в течение семестра с целью оценивания хода освоения дисциплины.

В течение семестра студенты:

- защищают лабораторные работы в формате тестирования;
- защищают практические работы;
- выполняют тестирования по материалам лекции в среде LMS.

Для текущего контроля успеваемости используются тесты, приведенные в таблице 18.

1.2. Методические указания для обучающихся по прохождению промежуточной аттестации.

Промежуточная аттестация обучающихся предусматривает оценивание промежуточных и окончательных результатов обучения по дисциплине. Она включает в себя:

- экзамен – форма оценки знаний, полученных обучающимся в процессе изучения всей дисциплины или ее части, навыков самостоятельной работы, способности применять их для решения практических задач. Экзамен, как правило, проводится в период экзаменационной сессии и завершается аттестационной оценкой «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

- зачет – это форма оценки знаний, полученных обучающимся в ходе изучения учебной дисциплины в целом или промежуточная (по окончании семестра) оценка знаний обучающимся по отдельным разделам дисциплины с аттестационной оценкой «зачтено» или «не зачтено».

Система оценок при проведении промежуточной аттестации осуществляется в соответствии с требованиями Положений «О текущем контроле успеваемости и промежуточной аттестации студентов ГУАП, обучающихся по программам высшего образования» и «О модульно-рейтинговой системе оценки качества учебной работы студентов в ГУАП».

Лист внесения изменений в рабочую программу дисциплины

Дата внесения изменений и дополнений. Подпись внесшего изменения	Содержание изменений и дополнений	Дата и № протокола заседания кафедры	Подпись зав. кафедрой