

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

Кафедра № 6

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель образовательной программы

ДОН, К.Т.Н.

(подпись, дата)

Н.Ю. Ефремов

(подпись, фамилия)

« 19 » февраля 2025 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«Методы исследования с использованием сканирующей зондовой микроскопии»
(бакалавриатное направление)

Код направления подготовки/ специальности	27.03.01
Наименование направления подготовки/ специальности	Стандартизация и метрология
Наименование направления специальности	Цифровая метрология и стандартизация
Форма обучения	очная
Год приема	2025

Лист согласования рабочих программ дисциплины

Программа составлена (а)

ДОН, К.Т.Н.

(подпись, дата)

19.02.2025

А.Г.Григорьев

(подпись, фамилия)

Программа одобрена на заседании кафедры № 6
«19» февраля 2025 г., протокол № 10-02/2025.

Заседующий кафедрой № 6

Д.У.Н., проф.

(подпись, дата)

19.02.2025

В.В. Овчинников

(подпись, фамилия)

Заместитель директора института ФЭИИ по методической работе

ДОН, К.Т.Н.

(подпись, дата)

19.02.2025

Н.Ю. Ефремов

(подпись, 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 «Цифровая метрология и стандартизация». Дисциплина реализуется кафедрой «№6».

Дисциплина нацелена на формирование у выпускника следующих компетенций:

ПК-1 «Способен проводить анализ состояния метрологического обеспечения в подразделении метрологической службы организации»

ПК-3 «Способен осуществлять работы по выявлению и предотвращению несоответствий продукции предъявляемым требованиям»

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с методами исследования физических, физико-химических и геометрических параметров и характеристик твердотельных и молекулярных структур. Эти методы и средства диагностики широко входят в практику исследования и изучения нанообъектов, обладают высоким разрешением, поэтому реально позволяют проводить исследования нанообъектов на атомарном уровне, вплоть до визуализации самой структуры объектов.

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 зачета.

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-1 Способен проводить анализ состояния метрологического обеспечения в подразделении метрологической службы организации	ПК-1.3.3 знать область применения методов измерения ПК-1.3.4 знать конструктивные особенности и принципы работы средств измерения, технологические возможности в области применения средств измерения
Профессиональные компетенции	ПК-3 Способен осуществлять работы по выявлению и предотвращению несоответствий продукции предъявляемым требованиям	ПК-3.3.3 знать физические принципы работы, возможности и области применения методов и средств измерений ПК-3.У.3 уметь выбирать и разрабатывать методы и средства контроля технологического процесса, технологической операции, разрабатывать схемы измерений и контроля

2. Место дисциплины в структуре ОП

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

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

- физические основы измерений и эталоны единиц;
- 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.

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

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
		№8
1	2	3
Общая трудоемкость дисциплины, ЗЕ/ (час)	3/ 108	3/ 108
Из них часов практической подготовки	10	10
Аудиторные занятия, всего час.	20	20
в том числе:		
лекции (Л), (час)	10	10
практические/семинарские занятия (ПЗ), (час)	10	10
лабораторные работы (ЛР), (час)		
курсовой проект (работа) (КП, КР), (час)		
экзамен, (час)		
Самостоятельная работа, всего (час)	88	88
Вид промежуточной аттестации: зачет, дифф. зачет, экзамен (Зачет, Дифф. зач, Экз.**)	Зачет	Зачет

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 8					
Раздел 1. Характеристика концепций нанотехнологий	2	2			10
Тема 1.1. Характеристика концепций наноструктурных и молекулярных нанотехнологий					

Раздел 2. Методы исследования нанообъектов Тема 2.1. Общие сведения об объектах исследования в области нанотехнологий	4	4			20
Раздел 3. Основные гетерогенные процессы формирования наноструктурированных объектов Тема 3.1 Характеристика, свойства, процессы формирования наноструктур	2	2			10
Раздел 4. Принципы построения технических средств исследования наноструктур 4.1 Основы механики и конструкций средств исследования наноструктурированных объектов .	2	2			48
Итого в семестре:	10	10			88
Итого	10	10	0	0	88

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>Тема 1. Основные понятия нанотехнологий и информационных технологий. Общие сведения об объектах исследования наноструктур. Назначение, определения, классификация</p> <p>Тема 1.1.1. Введение в наномир и в информационные технологии, основные положения.</p> <p>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. Информация (от лат. «Informatio») - это знания, сведения, сообщения, являющиеся объектом хранения, преобразования, передачи и помогающие решать поставленные задачи.</p> <p>Информационная технология формирует передний край научно-технического прогресса, создает информационный фундамент развития науки и всех остальных технологий. Развитие информационных технологий во всем мире объясняется возросшей интенсивностью информационных потоков вследствие развития процессов глобализации мировой экономики и становления информационного пространства. Управленческая деятельность нуждается в информационном обеспечении, так как обработка информации для принятия управленческих решений и выработки управляющих воздействий занимает достаточно много времени.</p> <p>Тема 1.1.2. Нанотехнологии в информационных технологиях</p> <p>В настоящее время нанотехнологиям уделяется большое внимание - создаются исследовательские институты, развернута подготовка специалистов. В США этими вопросами занимаются такие известные фирмы, как Intel, MEMS Industry Group, Sandia National Labs. Рассматриваемый круг вопросов - от ручки без разбрызгивания чернил до беспроводной передачи данных, оптических устройств управления оружием и миниспутников. Агентство перспективных разработок МО США реализует программу "Умная пыль", направленную на создание сверхминиатюрных устройств, способных генерировать энергию, проводить мониторинг окружающей среды, накапливать и передавать информацию. Очень значимое достижение в области нанотехнологий - создание</p>

	<p>ядра операционной системы.</p> <p>Ядром - центральная часть операционной системы (ОС), обеспечивающая приложения координированный доступ к ресурсам компьютера, таким как процессорное время, память и внешнее аппаратное обеспечение. Также обычно ядро предоставляет сервисы файловой системы и сетевых протоколов. На данное время уже выпущены операционные системы на основе 2, 4 и 6 ядер.</p> <p>Сегодня уже создан новый теплоотводный интерфейс, призванный защищать микросхемы будущего от перегрева. Ученые решили отказаться от традиционного интерфейса на мазевой основе, содержащей мелкие металлические частицы. Вместо этого они предложили выращивать теплоотводные элементы прямо на поверхности микросхемы.</p> <p>В результате поверхность чипа покрывалась целым лесом наноскопических углеродных нанотрубочек, которые и представляли собой основу нового теплоотводного интерфейса. Для выращивания нанолеса на поверхности полупроводника были нанесен рисунок с использованием специальных шаблонов из молекул с разветвленной цепью, именуемых дендримерами (dendrimers). Затем в точках разветвления рисунка были размещены частицы-катализаторы роста углеродных трубочек, выполненные из переходных металлов: железа, никеля, кобальта или палладия диаметром порядка 10 нм. Обработанные катализаторами полупроводники помещались в камеру с метановой атмосферой, где и происходил собственно процесс "выращивания" углеродных нанотрубок с диаметром, стремящимся к таковому частиц-катализаторов</p> <p>Тема 1.1.3. Искусственный интеллект и машинное обучение.</p> <p>Искусственный интеллект характеризуется методами, которые позволяют имитировать человеческое поведение. На основе данных об особенностях интеллекта и расшифровках аспектов обучения машина может воспроизвести эти процессы. Выделяют три группы систем искусственного интеллекта:</p> <ul style="list-style-type: none"> - ограниченный искусственный интеллект (Narrow AI) — решение одной конкретной задачи; - общий искусственный интеллект (AGI) – может выполнять много задач как человеческий мозг; - сверхразумный искусственный интеллект – выше интеллекта человека. <p>Машинное обучение — направление искусственного интеллекта, включающее методы, с помощью которых можно обучить. Машины получают данные и обучаются по ним. Например, решение класса задач на распознавание образов.</p> <p>Глубокое обучение - подмножество машинного обучения – использует нейронные сети для решения реальных задач. Нейронные сети имитируют человеческое поведение в процессе принятия решений.</p> <p>Компьютерное зрение- область искусственного интеллекта, направленная на анализ видео и изображений. Компьютер наделяют набором методов, с помощью которых он извлекает информацию из увиденного. Машины могут обнаруживать, отслеживать и классифицировать объекты.</p> <p>Нейросети - математическая модель, программа которой функционирует подобно мозгу живого организма. Сущность нейросетей заключается в построении программы по принципу функционирования биологических нейронных сетей. С помощью нейронных сетей решают задачи классификации, предсказания, распознавания</p> <p>Блокчейн и криптовалюты.</p> <p>Блокчейн — непрерывная цепочка блоков для хранения информации, сформированная по определенным правилам. Цифровые данные защищены от подмены и изменений.</p> <p>Криптовалюта - разновидность цифровой валюты. Ее количество определяется количеством данных расчетных единиц, которое записывается в соответствующей позиции информационного пакета протокола передачи данных. Большие данные или Big Data — структурированные или неструктурированные массивы данных большого объема. Их используют для статистики, анализа, принятия решений.</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 являются 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>
Раздел 2	<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 $-C-C-C-$, 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>
Раздел 3	<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. Дрексlera, которые также сначала воспринимались как научная фантастика. При этом фундаментальная монография "Наносистемы. Молекулярная техника, производство и вычисления" имеет, несомненно, основополагающее значение. Сам термин нанотехнология стал популярен именно после выхода в свет знаменитой книги Э. Дрексlera "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.</p>

	<p>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 $\sim 10^6$ опер/сек на устройство; - молекулярная сборка объекта массой 1 кг за $\sim 10^4$ сек; - работа наномеханического устройства с частотой $\sim 10^9$ 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>
Раздел 4	<p>Характеристика методов исследований объектов микро и наноструктур</p> <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>

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 8					
1	Основные черты современных ИТ. Структурированность стандартов цифрового обмена данными алгоритмов	Анализ и оценка ресурсов, необходимых для управления информацией, ПО, необходимое для создания, хранения, управления, передачи и поиска информации	2	1	1
2	Исследование поверхности методом атомно-силовой микроскопии	Проведение внешнего осмотра и подготовка СЗМ к работе в режиме атомно-силовой микроскопии	3	3	2
3	Исследование поверхности методом атомно-силовой микроскопии	Проведение внешнего осмотра и подготовка СЗМ к работе, подготовка образца к исследованию	3	3	3
4	Исследование поверхности методом атомно-силовой микроскопии	Обработка результатов исследования образца и анализ результатов измерений	2	2	4
Всего			10		

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 8, час
1	2	3
Изучение теоретического материала дисциплины (ТО)	8	
Подготовка к текущему контролю	20	

успеваемости (ТКУ)		
Домашнее задание (ДЗ)	50	
Подготовка к промежуточной аттестации (ПА)	10	
Всего:	88	88

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)
ISBN 978-5-9963-0028-4	Получение и исследование наноструктур. Лабораторный практикум по нанотехнологиям /Евдокимов А.А. и др./; под ред. А.С. Сигова. – М.; БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010. – 146 .	
https://www.booktech.ru/books/nanotehnologii	Физические основы микро- и наноэлектроники, 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 наноэлектроники: 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.	
https://znanium.com/catalog/product/1032129 (дата обращения: 07.09.2021). – Режим доступа: по подписке.	Исаев, С.В. Интеллектуальные системы : учеб. пособие / С.В. Исаев, О.С. Исаева. - Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2017. - 120 с. - ISBN 978-5-7638-3781-0.	
https://znanium.com/catalog/product/1060845 (дата обращения: 07.09.2021). – Режим доступа: по подписке.	Одинцов, Б. Е. Модели и проблемы интеллектуальных систем : монография / Б.Е. Одинцов. — Москва : ИНФРА-М, 2020. — 219 с. — (Научная мысль). — DOI 10.12737/1060845. - ISBN 978-5-16-015839-6.	

https://fs.guap.ru/science/patents/2021612957.pdf	Свид – во о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2021612957 Дом качества «QFD» Правообладатель: ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения» (RU) Автор: Чабаненко Александр Валерьевич (RU)	
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

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 таблице12.

Таблица 12 – Состав материально-технической базы

№ п/п	Наименование составной части материально-технической базы	Номер аудитории (при необходимости)
-------	-----------------------------------------------------------	-------------------------------------

1	Лаборатория искусственного интеллекта и цифровых технологий в метрологии	13-13
---	--------------------------------------------------------------------------	-------

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
Зачет	Список вопросов; Тесты; 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;

Оценка компетенции	Характеристика сформированных компетенций
5-балльная шкала	
	– 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
	Учебным планом не предусмотрено	

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
1	Основные особенности наноразмерных величин, их количественное значение.	ПК-1.3.3
2	Единицы измерения и наименования в области нанотехнологий	ПК-1.3.4
3	Линейные размеры особей животного мира и искусственных объектов в сравнительных значениях нанотехнологий	ПК-3.3.3
4	Основные события истории развития нанотехнологий в период с 400 г. до н.э. по 1959 г.	ПК-3.У.3
5	Основные события истории развития нанотехнологий в период с 1959 по н.в.	ПК-1.3.3
6	Разные подходы к научному определению термина «нанотехнология»	ПК-1.3.4
7	О работах Ж.И. Алферова в области нанотехнологий	ПК-3.3.3
8	Основные идеи Э. Дрекслера о роле нанотехнологий в развитии современного общества, изложенные в книге «Машины созидания»	ПК-3.У.3
9	Основные оценки ожидаемых параметров наномеханических устройств.	ПК-1.3.3
10	Характеристика и принцип работы наноустройства в живых организмах (на примере молекулы «АТФ Синтаза»).	ПК-1.3.4
11	Углерод в природе, в чем заключается его особая роль?	ПК-3.3.3
12	Простейшие конструкции приборов и узлов отдельных различных наноустройств	ПК-3.У.3
13	Возможные пути применения приборов и машин МНТ	ПК-1.3.3
14	Принципы самоорганизации, присущие наиболее распространенным объектам нанотехнологий	ПК-1.3.4
15	Принципы самосборки, присущие наиболее распространенным объектам нанотехнологий	ПК-3.3.3
16	Использование самоорганизации в НТ. Основные свойства самоорганизующихся систем	ПК-3.У.3
17	Наноматериалы, наименования, назначение, основные определения, какие объекты к ним относятся?	ПК-1.3.3

18	Основные типы наноматериалов, разделение по признакам измерений и размерности	ПК-1.3.4
19	Основы классификации и типы структур наноматериалов	ПК-3.3.3
20	Основные категории наноматериалов	ПК-3.У.3
21	Особенности свойств наноматериалов, направления их использования	ПК-1.3.3
22	Основные области применения объектов наноструктурных объектов	ПК-1.3.4
23	Краткая характеристика конструкционных, инструментальных и износостойких материалов	ПК-3.3.3
24	Использование наноматериалов в электронной технике Назначение, краткая характеристика электронного микроскопа	ПК-3.У.3
25	Физический смысл свойств ЭМ: увеличение, разрешение, разрешающая способность.	ПК-1.3.3
26	Условия формирования и свойства электронного луча микроскопа	ПК-1.3.4
27	Физический смысл хроматической аберрации	ПК-3.3.3
28	В чем различие характеристик разрешения оптического и электронного микроскопов	ПК-3.У.3
29	Характеристика разрешающей способности ЭМ	ПК-1.3.3
30	Назначение и устройство и свойства источника электронов	ПК-1.3.4
31	Конструктивные особенности системы освещения ЭМ	ПК-3.3.3
32	Устройство системы коррекции астигматизма в ЭМ	ПК-3.У.3
33	Принцип работы и устройство системы изображения ЭМ	ПК-1.3.3
34	. Блок-схема и принцип работы микроскопа БСОМ	ПК-1.3.4
35	Блок-схема и принцип действия Оже-спектрометра	ПК-3.3.3
36	Фотоэлектронная рентгеновская спектроскопия, блок-схема, принцип действия	ПК-3.У.3
	Фотоэлектронная рентгеновская спектроскопия, блок-схема, принцип действия	ПК-1.3.3
37	Принцип работы рамановской спектроскопии, блок-схемы процесса измерений.	ПК-1.3.4
38	Назначение принцип действия фотолюминесцентной спектроскопии	ПК-3.3.3
39	Информационные технологии в измерительных системах	ПК-3.У.3

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
-------	----------------------------------------	----------------

<p>1. Исследование микро- и наноструктур. . Начало вопроса: Какие методы диагностики наиболее распространены для исследования физических параметров и характеристик нанообъектов:</p> <ul style="list-style-type: none"> - электронная микроскопия высокого разрешения; - отражательная электронная микроскопия; - микроскопия медленных электронов.; - оптическая микроскопия. <p>2. 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:</p> <ul style="list-style-type: none"> - технология создания электровакуумных приборов; - создание микромодульных элементов; - создание интегральных печатных плат; - создание полупроводниковых элементов электронной техники. <p>3. Физическая сущность закона Гордона Мура. Начало вопроса: В чем заключается смысл эмпирического закона Мура?</p> <ul style="list-style-type: none"> - объясняет 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>4. 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>5. 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>6. 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>7. 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>8. 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>ПК-3.У.3</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------

	<p>9. 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>10. 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; - архитектуры отклоняющей системы микроскопа <p>11. Какая серия стандартов в настоящее время является основной для стандартов из области ИТ?</p> <ul style="list-style-type: none"> a. серия 25000; b. серия 9000; c. серия 14000; d. серия 16000. <p>12. Выделите два основных стандарта в области ИТ.</p> <ul style="list-style-type: none"> a. 12207:1995; b. 19760:2003; c. 16326:1999; d. 90003:2004; e. 15288:2002. <p>13. Назовите аббревиатуру международного союза электросвязи:</p> <ul style="list-style-type: none"> a. IEEE; b. IEC; c. ITU; d. ISO. 	
--	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

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.

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.

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).

11.4. 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.

Обязательно для заполнения преподавателем: указываются требования и методы проведения текущего контроля успеваемости, а также как результаты текущего контроля успеваемости будут учитываться при проведении промежуточной аттестации.

11.5. 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».

- дифференцированный зачет – это форма оценки знаний, полученных обучающимся при изучении дисциплины, при выполнении курсовых проектов, курсовых работ, научно-исследовательских работ и прохождении практик с аттестационной оценкой «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

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