

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)

«22» июня 2023 г

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«Теоретические основы нанодиагностики»

(Наименование дисциплины)

Код направления подготовки/ специальности	27.03.01
Наименование направления подготовки/ специальности	Метрологическое обеспечение вооружения и военной техники
Наименование направленности	Метрологическое обеспечение космических средств
Форма обучения	очная

Санкт-Петербург– 2023


Лист согласования рабочей программы дисциплины

Программу составил (а)

<u>доц.,к.т.н.</u> (должность, уч. степень, звание)	 (подпись, дата)	22.06.23	<u>К.В. Елифанцев</u> (инициалы, фамилия)
---	--	----------	--

Программа одобрена на заседании кафедры № 6  
«22» июня 2023 г, протокол № 14


Заведующий кафедрой № 6

<u>д.э.н.,проф.</u> (уч. степень, звание)	 (подпись, дата)	22.06.23	<u>В.В. Окрепилов</u> (инициалы, фамилия)
--	--	----------	--

Ответственный за ОП ВО 27.05.02(04)

<u>доц., к.т.н.</u> (должность, уч. степень, звание)	 (подпись, дата)	22.06.23	<u>Р.Н.Целмс</u> (инициалы, фамилия)
---	---	----------	---

Заместитель директора института ФПТИ по методической работе

<u>доц.,к.ф.-м.н.</u> (должность, уч. степень, звание)	 (подпись, дата)	22.06.23	<u>Ю.А. Новикова</u> (инициалы, фамилия)
---	--	----------	---

## Аннотация

Дисциплина «Теоретические основы нанодиагностики» входит в образовательную программу высшего образования – программу специалитета по направлению подготовки/ специальности 27.05.02 «Метрологическое обеспечение вооружения и военной техники» направленности «Метрологическое обеспечение космических средств». 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. 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. Включены отдельные элементы искусственного интеллекта, которые все больше становятся неотъемлемой частью образовательного процесса, существенно повышающего его качество и эффективность.

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. Цели преподавания дисциплины

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 средств, 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-1.3.2 знать принципы нормирования точности измерения 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 ПК-1.У.1 уметь определять необходимость разработки нормативных документов, регламентирующих работы по метрологическому обеспечению ПК-1.В.1 владеть навыками анализа состояния средств измерений, эталонов, поверочных схем, нормативных документов, регламентирующих работы по метрологическому обеспечению ПК-1.В.3 владеть навыками выявления и оценки погрешностей измерения и ошибок контроля.
Профессиональные компетенции	ПК-3 Способен осуществлять работы по выявлению и предотвращению несоответствий продукции предъявляемым требованиям	ПК-3.3.2 знать документы по стандартизации и методические документы, регламентирующие вопросы управления качеством, вопросы делопроизводства, качества продукции, качества сырья, качества материалов. 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 ПК-3.В.3 владеть навыками разработки предложений по предупреждению и устранению брака изделий.
--	--	--

## 2. Место дисциплины в структуре ОП

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

- «Математика. Аналитическая геометрия и линейная алгебра»;
- «Математика. Теория вероятностей и математическая статистика»
- «Инженерная и компьютерная графика»;
- «Метрология. Общая теория измерений»;
- «Физика»;
- «Метрология и стандартизация»;
- «Механика»;
- «Материаловедение»

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

- «Производственная преддипломная практика»;
- «ГИА»;
- «Информационная поддержка жизненного цикла вооружения и военной техники»

## 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
		№7
1	2	3
<b>Общая трудоемкость дисциплины, ЗЕ/ (час)</b>	3/ 108	3/ 108
<b>Из них часов практической подготовки</b>	17	17
<b>Аудиторные занятия, всего час.</b>	34	34
в том числе:		
лекции (Л), (час)	17	17
практические/семинарские занятия (ПЗ), (час)	17	17
лабораторные работы (ЛР), (час)		
курсовой проект (работа) (КП, КР), (час)		
экзамен, (час)		
<b>Самостоятельная работа, всего (час)</b>	74	74
<b>Вид промежуточной аттестации:</b> 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 7					
Раздел 1. Структура, свойства методы получения и особенности применения наноструктур	4	4			10
Раздел 2. Характеристика методов исследований объектов микро и наноструктур	3	3			24
Раздел 3. Методы исследований структурных и физико-химических свойств нанообъектов и систем	4	4			10
Раздел 4. Принципы построения технических средств исследования наноструктур	3	3	0	0	15
Раздел 5. Основы механики и конструкций средств измерений наноструктурированных объектов	3	3			15
Итого в семестре:	17	17			74
Итого	17	17	0	0	74

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. Структура, свойства методы получения и особенности применения наноструктур	Тема 1.1 Исследование объектов нанотехнологий 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 нанонауки стало изобретение просвечивающей электронной микроскопии, позволяющей получить изображение наноразмерных структур, а также изобретение сканирующего туннельного микроскопа. 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>Тема 1.2 Структура, свойства, методы получения и особенности применения 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>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 <math>-C-C-C-</math>, которые природа использует для создания биологических полимеров, а человек для производства различных синтетических материалов.</p> <p>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. 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 2. Характеристика методов исследований объектов микро и наноструктур</p>	<p>Тема 2.1. Инструменты исследований 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 2.2 Атомно-силовой микроскоп.  В атомно-силовом микроскопе электроника используется для измерения силы вводимой кончиком зонда при его движении вдоль поверхности исследуемого объекта.</p> <p>Тема 2.3. Туннельный микроскоп.  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. 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 3. Методы исследований структурных и физико-химических свойств нанобъектов и систем</p>	<p>Тема 3.1 Методы исследований и изучения физико-химических свойств нанобъектов и систем  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>Молекулярно-лучевая эпитаксия (МЛЭ). 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 3.2. Формирование структур на основе коллоидных растворов  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 3.3 Золь-гель-технология.  Золь-гель-технология представляет собой технологический</p>



	<p>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 4. Принципы построения технических средств исследования наноструктур</p>	<p>Тема 4.1 Принципы развития наноструктур Современное развитие физики и технологии твердотельных наноструктур, проявляющееся в непрерывном переходе топологии элементов электронной техники от субмикронных к нанометровым 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 наноструктур. Для этого требуется изменение традиционных методов, а также создание и развитие совершенно новых средств и методов, процессов присущих объектам нанометрового масштаба.</p> <p>Тема 4.2. Методы электронной спектроскопии 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 4.3. Средства электронной микроскопии 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>Сканирующий электронный микроскоп позволяет</p>

	<p>вплотную приближаться по разрешению к атомному уровню, сохраняя возможность получения информации о физических, химических электрических и др. свойствах исследуемых нанообъектов.</p>
<p>Раздел 5. Основы механики и конструкций средств измерений наноструктурированных объектов</p>	<p>Тема 5.1 Область применения наноструктурированных объектов</p> <p>Размеры нанообъектов находятся в диапазоне от 0,1 до 100 нм. Этот диапазон принято называть наномасштабом. Согласно проекту технической спецификации ISO/DTS 12805 произведенные нанообъекты разделяют по признаку геометрической формы на три категории:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-частицы - объекты, имеющие три размера в наномасштабе;</li> <li>-волокна-объекты, имеющие два размера в наномасштабе;</li> <li>-пластины - объекты, имеющие один размер в наномасштабе.</li> </ul> <p>Большинство нанообъектов имеет углеродную основу. 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.</p> <p>Тема 5.2 Назначение, свойства, острейного зондового датчика.</p> <p>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.</p> <p>Геометрически зонд представляет собой иглу конической или призматической формы с углом при вершине 20 - важная характеристика зонда - радиус закругления острия <math>r</math>, значение которого обычно не более 1 - 25 нм. В качестве измерительных преобразователей в нанотехнологии используется датчик наноперемещений, представляющий собой совокупность механического элемента и транзистора. Механическим элементом является брусок (наноэлектромеханическая перемиычка) 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.</p> <p>Тема 5.2.1 Назначение датчика силы и массы</p> <p>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,</p>

	<p>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.</p> <p>Тема 5.2.2 Назначение и сфера применения зондового датчика</p> <p>Зондовый датчик устройство, включающее твердотельный острый 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 иглы, характеризуемое углом конуса; у наиболее совершенных кантилеверов аспектное соотношение достигает величины 15:1. Для изготовления кантилеверов используются полупроводниковые пластины (например, КДБ-12: кремний р-типа выполняет диоксид кремния SiO<sub>2</sub>. 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. 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>
--	---

#### 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 7					
1	Исследование	имитационные	4	2	3

	поверхности методом атомно-силовой микроскопии. Проведение внешнего осмотра и подготовка СЗМ к работе в режиме атомно-силовой микроскопии	занятия			
2	Исследование поверхности методом атомно-силовой микроскопии. Проведение внешнего осмотра и подготовка СЗМ к работе, подготовка образца к исследованию	имитационные занятия	4	2	3
3	Исследование поверхности методом атомно-силовой микроскопии. Обработка результатов исследования образца и анализ результатов измерений	имитационные занятия	4	3	2
4	Подготовка электронного микроскопа и функциональных блоков (узлов) к работе в основных рабочих режимах. Порядок и последовательность включения и выключения СЗМ мод.Solver PRO-M	имитационные занятия	2	3	2
5	Организация проведения поверки сканирующих зондовых микроскопов. Порядок проведения поверки эл. микроскопа мод. Solver PRO-M	имитационные занятия	2	4	2
Всего			17		

#### 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)	20	20
Курсовое проектирование (КП, КР)		
Расчетно-графические задания (РГЗ)		
Выполнение реферата (Р)		
Подготовка к текущему контролю успеваемости (ТКУ)	20	20
Домашнее задание (ДЗ)		
Контрольные работы заочников (КРЗ)		
Подготовка к промежуточной аттестации (ПА)	34	34
Всего:	74	74

#### 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)
<a href="https://znanium.com/catalog/product/1060845">https://znanium.com/catalog/product/1060845</a> (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.	
<a href="https://www.booktech.ru/books/nanotehnologii">https://www.booktech.ru/books/nanotehnologii</a>	Физические основы микро- и нанoeлектроники, Дурнаков А.А., /учебное пособие/, УрФУ, 2020, - 252 с.	
<a href="https://znanium.com/catalog/product/1984948">https://znanium.com/catalog/product/1984948</a>	Растровая электронная микроскопия для	

	нанотехнологий. Методы и применение : монография / под ред. У. Жу, Ж. Л. Уанга, Т. П. Каминской. - 4-е изд. - Москва : Лаборатория знаний, 2021. - 601 с. - ISBN 978-5-00101-142-2. - Текст : электронный.	
<a href="https://znanium.com/catalog/product/1894131">https://znanium.com/catalog/product/1894131</a> (дата обращения: 22.08.2023). – Режим доступа: по подписке.	Филимонов, В. Е. Микроскопический анализ дисперсного состава порошков : учебное пособие / В. Е. Филимонов, А. В. Мороз. - Йошкар-Ола : Поволжский государственный технологический университет, 2020. - 76 с. - ISBN 978-5-8158-2167-5. - Текст : электронный.	

#### 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
<a href="http://science.guap.ru">http://science.guap.ru</a>	Научная и инновационная деятельность ГУАП
<a href="http://www.consultant.ru">http://www.consultant.ru</a>	Справочно-правовая система «Консультант Плюс»
<a href="http://www.garant.ru">http://www.garant.ru</a>	Информационно-правовой портал «Г АРАНТ»
<a href="http://list-of-lit.ru/nano/nnotechnologii">http://list-of-lit.ru/nano/nnotechnologii</a>	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	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»	– 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»	– 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.

Оценка компетенции	Характеристика сформированных компетенций
5-балльная шкала	
«удовлетворительно» «зачтено»	<ul style="list-style-type: none"> <li>– обучающийся усвоил только основной программный материал, по существу излагает его, опираясь на знания только основной литературы;</li> <li>– допускает несущественные ошибки и неточности;</li> <li>– испытывает затруднения в практическом применении знаний направления;</li> <li>– слабо аргументирует научные положения;</li> <li>– затрудняется в формулировании выводов и обобщений;</li> <li>– частично владеет системой специализированных понятий.</li> </ul>
«неудовлетворительно» «не зачтено»	<ul style="list-style-type: none"> <li>– обучающийся не усвоил значительной части программного материала;</li> <li>– допускает существенные ошибки и неточности при рассмотрении проблем в конкретном направлении;</li> <li>– испытывает трудности в практическом применении знаний;</li> <li>– не может аргументировать научные положения;</li> <li>– не формулирует выводов и обобщений.</li> </ul>

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	Опишите физический смысл хроматической аберрации	ПК-1.3.4
2	Проанализируйте в чем различие характеристик разрешения оптического и электронного микроскопов	ПК-3.У.3
3	Проанализируйте характеристику разрешающей способности ЭМ	ПК-3.У.3
4	Опишите назначение и устройство и свойства источника электронов	ПК-1.3.3
5	Назовите конструктивные особенности системы освещения ЭМ	ПК-1.3.3
6	Опишите устройство системы коррекции астигматизма в ЭМ	ПК-3.3.3
7	Опишите принцип работы и устройство системы изображения ЭМ	ПК-3.3.3
8	Опишите блок-схему и принцип работы микроскопа БСОМ	ПК-3.3.3
9	Опишите блок-схему и принцип действия Оже-спектрометра	ПК-3.3.3
10	Опишите микроскоп, блок-схему, принцип действия	ПК-1.3.3
11	Опишите фотоэлектронную рентгеновскую спектроскопию, блок-схему, принцип действия	ПК-1.3.3
12	Опишите принцип работы рамановской спектроскопии, блок-схемы процесса измерений.	ПК-1.3.3
13	Опишите назначение принцип действия фотолюминесцентной спектроскопии	ПК-1.3.3
14	Опишите информационные технологии в измерительных системах	ПК-3.3.3
15	Опишите информационные технологии в нанотехнологиях	ПК-3.3.3
16	Опишите принципы и основные элементы искусственного интеллекта	ПК-3.3.3
17	Опишите физические принципы луча микроскопа	ПК-1.3.4
18	Опишите физические принципы действия методов и средств масс-	ПК-1.3.4



	спектрометрии	
19	Опишите физическую сущность туннельного эффекта в радиоэлектронике	ПК-1.3.4
20	Опишите основные понятия и определения в области нанотехнологий	ПК-1.3.4
21	Проанализируйте, чем наноструктурированные материалы отличаются от классических материалов?	ПК-3.У.3
22	Опишите основные особенности наноразмерных величин, их количественное значение.	ПК-1.3.4
23	Опишите единицы измерения и наименования в области нанотехнологий	ПК-1.3.4
24	Проанализируйте линейные размеры объектов животного мира и искусственных объектов в сравнительных значениях нанотехнологий	ПК-3.У.3
26	Опишите подходы к научному определению термина «нанотехнология»	ПК-1.3.4
27	Опишите основные идеи Э. Дрекслера о роле нанотехнологий в развитии современного общества, изложенные в книге «Машины созидания»	ПК-1.3.4
28	Проанализируйте ожидаемые параметры наномеханических устройств.	ПК-3.У.3
29	Опишите принцип работы наноустройства в живых организмах (на примере молекулы «АТФ Синтаза»).	ПК-1.3.4
30	Опишите углерод в природе, в чем заключается его особая роль?	ПК-1.3.4
31	Проанализируйте возможные пути применения приборов и машин МНТ	ПК-3.У.3
32	Опишите принципы самосборки, присущие наиболее распространенным объектам нанотехнологий	ПК-1.3.4
33	Проанализируйте использование самоорганизации в НТ. Основные свойства самоорганизующихся систем	ПК-3.У.3
34	Оцените, какие виды дефектов в наноматериалах имеют место быть?	ПК-3.В.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
1	<p><i>Исследование микро- и наноструктур.</i> .</p> <p>Проанализируйте ,какие методы диагностики наиболее распространены для исследования физических параметров и характеристик нанообъектов:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-электронная микроскопия высокого разрешения;</li> <li>-отражательная электронная микроскопия;</li> <li>-микроскопия медленных электронов.;</li> <li>-оптическая микроскопия.</li> </ul>	ПК-3.У.3

2	<p><i>Важнейшие технологические достижения во второй половине двадцатого столетия.</i></p> <p>Проанализируйте, что способствовало, в наибольшей степени, интенсивному развитию нанотехнологий в стране и за рубежом?</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-технология создания электровакуумных приборов;</li> <li>-создание микромодульных элементов;</li> <li>-создание интегральных печатных плат;</li> <li>-создание полупроводниковых элементов электронной техники.</li> </ul>	ПК-3.У.3
3	<p><i>Физическая сущность закона Гордона Мура.</i></p> <p>Проанализируйте, в чем заключается смысл эмпирического закона Мура?</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-объяснят принцип получения черно-белого изображения кадра телевизора;</li> <li>-закон объясняет принцип функционирования оптоволоконного элемента;</li> <li>-предельные границы быстродействия компьютера;</li> <li>-предельное число размещения транзисторов на печатной плате компьютера.</li> </ul>	ПК-3.У.3
4	<p><i>Средства измерения для исследования наноструктур.</i></p> <p>Проанализируйте, в чем заключается основные достоинства электронного микроскопа?</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-улучшены весовые и габаритные характеристики приборов,</li> <li>-возможность цифрового представления результатов анализа;</li> <li>-более совершенная, по сравнению с оптическим микроскопом, система получения изображения наблюдаемого объекта;</li> <li>-возможность получения более разнообразной информации об объекте;</li> <li>-пределы увеличения исследуемого объекта.</li> </ul>	ПК-1.3.4
5	<p><i>Основные параметры и характеристики микроскопов</i></p> <p>Назовите предельные значения характеристики увеличения оптического микроскопа:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 100 раз;</li> <li>- 200 раз;</li> <li>- 400 раз;</li> <li>- 700 раз;</li> <li>- 1000 раз;</li> <li>- 1500 раз</li> </ul>	ПК-1.3.4
6	<p><i>Основные параметры и характеристики микроскопов.</i></p> <p>Установите предельные значения увеличения электронного микроскопа:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 1000 раз;</li> <li>- 2000 раз;</li> <li>- 5000 раз;</li> <li>- 8000 раз;</li> <li>-1млн. раз;</li> <li>-2 млн. раз</li> </ul>	ПК-1.3.4
7	<p><i>Основные параметры и характеристики микроскопов.</i></p> <p>Проанализируйте, чем определяется разрешающая способность оптического микроскопа:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- уровнем освещенности рабочей линзы;</li> <li>- величиной фокусного расстояния;</li> </ul>	ПК-3.У.3

	- совершенством отклоняющей системы; - длиной волны света.	
8	<i>Основные параметры и характеристики микроскопов.</i> Проанализируйте, чем определяется разрешающая способность электронного микроскопа: - конструкцией системы изображения микроскопа; - устройством электронной пушки, - системой считывания результатов обработки измерений; - расстоянием пролета электрона; - скоростью пролета электрона.	ПК-3.У.3
9	<i>Преимущества электронного микроскопа.</i> Проанализируйте, чем объясняется высокая разрешающая способность электронного микроскопа: -геометрическими размерами рабочей зоны; -использованием электронного потока вместо светового потока; -длиной волны электрона.	ПК-3.У.3
10	11. Проанализируйте, какая серия стандартов в настоящее время является основной для стандартов из области ИТ? a. серия 25000; b. серия 9000; c. серия 14000; d. серия 16000.	ПК-3.У.3
11	12. Установите два основных стандарта в области ИТ. а. 12207:1995; b. 19760:2003; c. 16326:1999; d. 90003:2004; e.15288:2002.	ПК-1.3.4
12	13. Установите аббревиатуру международного союза электросвязи: a. IEEE; b. IEC; c. ITU; d. ISO.	ПК-1.3.4

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

Растровая электронная микроскопия для нанотехнологий. Методы и применение : монография / под ред. У. Жу, Ж. Л. Уанга, Т. П. Каминской. - 4-е изд. - Москва : Лаборатория знаний, 2021. - 601 с. - ISBN 978-5-00101-142-2.

11.2. Методические указания для обучающихся по прохождению практических занятий

Структура и форма отчета о практической работе

Отчет о выполненной работе должен содержать: титульный лист, основную часть, выводы по результатам исследований .

На титульном листе должны быть указаны: название дисциплины, название практической работы, фамилия и инициалы преподавателя, фамилия и инициалы студента, номер его учебной группы и дата защиты работы.

Основная часть должна содержать задание, результаты экспериментально-практической работы, расчетно-аналитические материалы, листинг кода/скрин экрана.

Выводы по проделанной работе должны содержать основные результаты по работе.

Требования к оформлению отчета о практической работе

Титульный лист отчета должен соответствовать шаблону, приведенному в секторе нормативной документации ГУАП <https://guap.ru/standart/doc>

Оформление основной части отчета должно быть оформлено в соответствии с ГОСТ 7.32-2017. Требования приведены в секторе нормативной документации ГУАП <https://guap.ru/standart/doc>

При формировании списка источников студентам необходимо руководствоваться требованиями стандарта ГОСТ 7.0.100-2018. Примеры оформления списка источников приведены в секторе нормативной документации ГУАП. <https://guap.ru/standart/doc>

Структура и форма отчета о практической работе

Отчет о практической работе должен содержать: титульный лист, основную часть, выводы по результатам исследований .

*На титульном листе* должны быть указаны: название дисциплины, название практической работы, фамилия и инициалы преподавателя, фамилия и инициалы студента, номер его учебной группы и дата защиты работы.

*Основная часть* должна содержать задание, результаты экспериментально-практической работы, расчетно-аналитические материалы.

*Выводы* по проделанной работе должны содержать результаты экспериментов, проведенных студентами на стендах, их рефлексированные выводы по значимости эксперимента, анализу видов и последствий потенциальных погрешностей, которые могли влиять на «чистоту эксперимента». Также вывод должен содержать ответ на вопрос – какие основные наиболее сложные элементы методики им было необходимо выполнить и с чем данная сложность была связана.

### 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.

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

В течение семестра студенты

- защищают практические работы (5 шт);

- выполняют тестирования по материалам лекции в среде LMS.

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

### 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.

В течение семестра студенты

- решают задания в формате тестирования;

- защищают практические работы (5 шт)

Для текущего контроля успеваемости необходимо представить не менее 1 протокола о работе после 4-х часов проведенных лабораторных работ. Также в качестве защиты работ может быть

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:

– 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».

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