

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

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

Код направления подготовки/ специальности	27.03.01
Наименование направления подготовки/ специальности	Стандартизация и метрология
Наименование направленности	Цифровая метрология и стандартизация
Форма обучения	заочная

Санкт-Петербург– 2023

Лист согласования рабочей программы дисциплины

Программу составил (а)

Доц., к.т.н.

(должность, уч. степень,  
звание)

(подпись, дата)

22.06.23

А.Г. Грабарь

(инициалы, фамилия)

Программа одобрена на заседании кафедры № 6

«22» июня 2023 г, протокол № 14

Заведующий кафедрой № 6

д.э.н., проф.

(уч. степень, звание)

(подпись, дата)

22.06.23

В.В. Окрепилов

(инициалы, фамилия)

Ответственный за ОП ВО 27.03.01(02)

доц., к.т.н.

(должность, уч. степень, звание)

(подпись, дата)

22.06.23

Н.Ю. Ефремов

(инициалы, фамилия)

Заместитель директора института ФПТИ по методической работе

доц., к.ф.-м.н.

(должность, уч. степень, звание)

(подпись, дата)

22.06.23

Ю.А. Новикова

(инициалы, фамилия)

## Аннотация

Дисциплина «Методы исследования с использованием сканирующей зондовой микроскопии» входит в образовательную программу высшего образования – программу бакалавриата по направлению подготовки/ специальности 27.03.01 «Стандартизация и метрология» направленности «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. 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 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:

- «Цифровая метрология»,
- «Электроника»,
- «Материаловедение»,
- «Физика»,
- «Химия».

- «Прикладная метрология»,
- «Метрологическая экспертиза»

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

- «Производственная преддипломная практика»,
- «ГИА»

### 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>	8	8
<b>Аудиторные занятия, всего час.</b>	16	16
в том числе:		
лекции (Л), (час)	8	8
практические/семинарские занятия (ПЗ), (час)	8	8
лабораторные работы (ЛР), (час)		
курсовой проект (работа) (КП, КР), (час)		
экзамен, (час)		
<b>Самостоятельная работа, всего (час)</b>	92	92
<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. Характеристика концепций нанотехнологий	2	2			20
Раздел 2. Методы исследования нанобъектов	2	2			22
Раздел 3. Основные гетерогенные процессы формирования наноструктурированных объектов	2	2			18

Раздел 4. Принципы построения технических средств исследования наноструктур	1	1			15
Раздел 5 Сканирующая туннельная микроскопия	1	1			17
Итого в семестре:	8	8			92
Итого	8	8	0	0	92

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. Характеристика концепций нанотехнологий	<p>Тема 1.1 Характеристика концепций наноструктурных и молекулярных нанотехнологий</p> <p>Идею о том, что возможно создавать нужные нам устройства и другие объекты, собирая их "молекула за молекулой" и, даже, "атом за атомом" обычно возводят к знаменитой лекции одного из крупнейших физиков XX века Ричарда Фейнмана «Там внизу — много места». Эта лекция была прочитана им в 1959 году; большинство современников восприняли её как фантастику или шутку.</p> <p>Современный вид идеи молекулярной нанотехнологии начали приобретать в 80-е годы XX века в результате работ К. Э. Дрекслера, которые также сначала воспринимались как научная фантастика. При этом фундаментальная монография "Наносистемы. Молекулярная техника, производство и вычисления" имеет, несомненно, основополагающее значение. Сам термин нанотехнология стал популярен именно после выхода в свет знаменитой книги Э. Дрекслера "Машины творения" и последовавшей за этим дискуссии. Позже Дрекслер в своих научных работах стал использовать термин молекулярная нанотехнология (МНТ) для различения предлагаемых им решений.</p> <p>Тема 1.2 Работы Дрекслера</p> <p>Оценки параметров наномеханических устройств и машин - в своих работах Э. Дрекслер и его последователи оценивали параметры в основном механических устройств, которые они могли бы иметь при приближении размера компонент к молекулярному масштабу. Это обусловлено не тем, что они недооценивают важность электрических, оптических и т. д. эффектов, а тем, что механические конструкции гораздо проще и достовернее масштабируются. При этом осознаётся, что электрические и прочие эффекты могут дать значительные дополнительные возможности. Произведя соответствующее масштабирование Дрекслер получил следующие численные оценки:</p>

	<p>-позиционирование реагирующих молекул с точностью <math>\sim 0.1</math> нм;</p> <p>-механосинтез с производительностью <math>\sim 10^6</math> опер/сек на устройство;</p> <p>-молекулярная сборка объекта массой 1 кг за <math>\sim 10^4</math> сек;</p> <p>-работа наномеханического устройства с частотой <math>\sim 10^9</math> Гц.</p> <p>Другим важным направлением изучения являются объекты наномолекулярной технологии - исследования по вопросам возможного функционирования работы "устройства" аналогичного масштаба в живых организмах. В качестве примера целесообразно рассмотреть работу представителя живого организма АТФ-синтаза являющегося ферментом, преобразующим разность концентраций протонов по разные стороны мембраны в энергию, запасённую в молекулах аденозинтрифосфата (АТФ). Последнее используется практически всеми механизмами клетки в качестве универсального носителя энергии. АТФ- синтаза присутствует в "энергетических станциях" растительных и животных клеток - хлоропластах и митохондриях и представляет собой довольно сложную конструкцию из нескольких типов единиц – белковых молекул.</p>
<p>Раздел 2. Методы исследования нанообъектов</p>	<p>Тема 2.1. Общие сведения об объектах исследования в области 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</p> <p>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.</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 2.4 Магнитно-силовой микроскоп</p> <p>В магнитно-силовом микроскопе зонд, сканирующий поверхность, является магнитным, он позволяет почувствовать на поверхности локальную магнитную</p>

	<p>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. Основные гетерогенные процессы формирования наноструктурированных объектов</p>	<p>Тема 3.1 Свойства процессов формирования наноструктур В общем случае под гетерогенными процессами понимают технологические процессы, происходящие на границе раздела фаз и формирующие гетерогенные системы. Гетерогенная система представляет собой термодинамическую систему, состоящую из различных по физическим и химическим свойствам частей или фаз, которые отделены друг от друга поверхностями раздела. Каждая из фаз при этом гомогенна и ее поведение подчиняется законам термодинамики.</p> <p>Тема 3.2 Химические гетерогенные процессы. Многие гетерогенные процессы не связаны с химическими реакциями и основаны только на физико-химических явлениях. Химические гетерогенные процессы включают в качестве этапа химические реакции, которые идут в одной из фаз после перемещения туда реагентов или на поверхности раздела фаз. На гетерогенные равновесия влияют температура, давление, концентрации реагентов и продуктов реакции. Равновесие гетерогенных процессов определяется константой равновесия химических реакций, законом распределения компонентов между фазами и правилом фаз. Равновесные концентрации компонентов в соприкасающихся фазах определяются законом распределения вещества, который устанавливает постоянное соотношение между равновесными концентрациями вещества в двух фазах системы при определенной температуре. Гетерогенные процессы</p> <p>Тема 3.3 Свойства гетерогенных процессов. Механизм гетерогенных процессов сложнее гомогенных, так как взаимодействию реагентов, находящихся в разных фазах, предшествует их доставка к поверхности раздела фаз и массообмен между фазами. Поэтому скорость гетерогенных некаталитических процессов, как правило, меньше скорости гомогенных процессов. Массообмен между фазами осуществляется с помощью диффузии и характеризуется коэффициентом массообмена где <math>D</math> — коэффициент диффузии, <math>\delta</math> - толщина пограничного слоя. Для расчета <math>\beta</math>, который служит описательной характеристикой и для более сложных механизмов переноса, используют критериальные уравнения. <math>\beta = D / \delta</math> в период протекания гетерогенного процесса.</p>
<p>Раздел 4. Принципы построения технических средств исследования наноструктур</p>	<p>4.1 Основы механики и конструкций средств исследования Областью применения наноструктурированных объектов является нанообъекты, размеры которых находятся в диапазоне от 0,1 до 100 нм. Этот диапазон принято называть наномасштабом.</p>
<p>Раздел 5 Сканирующая туннельная микроскопия</p>	<p>Тема 5.1. Туннельный эффект и сканирующая туннельная микроскопия. Физический смысл туннельного эффекта</p>



	<p>Физический смысл туннельного эффекта заключается в прохождении через потенциальный барьер электрона (микрочастицы), энергия которой меньше, чем высота барьера. Строгое объяснение этого эффекта дает квантовая механика (исходя из неопределенности импульса микрочастицы в области барьера). Еще в XVII в. И. Ньютон сформулировал законы классической механики, что стало великим событием в истории физики. Это объясняется «волновой природой» электронов, а само название возникло из-за того, что, с точки зрения внешнего наблюдателя классической физики (и здравого смысла!), эффект выглядит совершенно непонятным и напоминает ситуацию, при которой электрон как бы находит в стене какой-то «туннель» и проскакивает через него (в качестве стены выступает электростатический потенциал ядра).</p> <p>Тема 5.2 Тоннельный микроскоп</p> <p>В частности, на нем основан принцип действия известных туннельных диодов и многих других полупроводниковых приборов. В настоящее время эффект широко применяется в сверхчувствительных записывающих головках магнитных дисков, сканирующих туннельных микроскопах, приборах ядерной физики и т.д. Процесс носит случайный характер, но его вероятность может быть вычислена по законам квантовой механики совершенно точно (при этом электрон рассматривается одновременно и в качестве волны, и в качестве частицы). Именно волновые характеристики поведения электрона позволяют ему преодолевать энергетический барьер. При большом количестве таких электронов можно, естественно, говорить о туннельном токе. В туннельном микроскопе измеряется величина электрического тока, проходящего между сканирующим зондом и поверхностью. В зависимости от того, как проводятся измерения, микроскоп можно использовать либо для проверки локальной геометрии (насколько поверхность локально выступает вперед), либо для измерения локальных характеристик электропроводности. Туннельная микроскопия — это, по сути, первый разработанный метод зондового сканирования, и за его открытие Г. Бинниг (G. Binnig) и Г. Рорер (H. Rohrer) в 1986 г. получили Нобелевскую премию.</p>
--	---

#### 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.	решение ситуационных	1	3	2

	Структурированность стандартов цифрового обмена данными алгоритмов.	задач			
2	Анализ и оценка ресурсов, необходимых для управления информацией	решение ситуационных задач	2	2	2
3	Исследование поверхности методом атомно-силовой микроскопии.	решение ситуационных задач	2	3	2
4	Подготовка электронного микроскопа и функциональных блоков (узлов) к работе в основных рабочих режимах.	решение ситуационных задач	2	4	3
5	Порядок проведения поверки туннельного и сканирующего микроскопов	решение ситуационных задач	1	4	3
Всего			8		

#### 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)	28	28
Курсовое проектирование (КП, КР)		
Расчетно-графические задания (РГЗ)		
Выполнение реферата (Р)		
Подготовка к текущему контролю	22	22

успеваемости (ТКУ)		
Домашнее задание (ДЗ)		
Контрольные работы заочников (КРЗ)	20	20
Подготовка к промежуточной аттестации (ПА)	22	22
Всего:	92	92

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.	
<a href="https://fs.guap.ru/science/patents/2021612957.pdf">https://fs.guap.ru/science/patents/2021612957.pdf</a>	Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021612957 Дом качества «QFD»	

#### 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 «ГАРАНТ»
<a href="http://list-of-lit.ru/nano/notechnologii">http://list-of-lit.ru/nano/notechnologii</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	Характеристика сформированных компетенций
5-балльная шкала	
«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 основные идеи и понятия нанотехнологий данные в работах Н. Танигучи.	ПК-1.3.4
2	Расскажите, в какой области промышленного производства впервые стали реализовывать идеи нанотехнологий	ПК-3.У.3
3	Опишите идею лекции Э. Шредингера «Что такое жизнь с точки зрения физики»?	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 основные положения лекции, прочитанной Р. Фейнманом в 1959 г.	ПК-3.3.3
8	Опишите основные понятия и определения в области нанотехнологий	ПК-3.3.3
9	Расскажите чем наноструктурированные материалы отличаются от классических материалов?	ПК-3.3.3
10	Опишите основные особенности наноразмерных величин, их количественное значение.	ПК-1.3.3
11	Опишите единицы измерения и наименования в области нанотехнологий	ПК-1.3.3
12	Опишите линейные размеры особей животного мира и искусственных объектов в сравнительных значениях нанотехнологий	ПК-1.3.3
13	Опишите основные события истории развития нанотехнологий в период с 400 г. до н.э. по 1959 г.	ПК-1.3.3

14	Опишите события истории развития нанотехнологий в период с 1959 по н/в.	ПК-3.3.3
15	Разные подходы к научному определению термина «нанотехнология»	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-спектрометрии	ПК-1.3.4
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 особей животного мира и искусственных объектов в сравнительных значениях нанотехнологий	ПК-3.У.3
25	Опишите основные события истории развития нанотехнологий в период с 400 г. до н.э. по 1959 г.	ПК-1.3.4
26	Опишите основные события истории развития нанотехнологий в период с 1959 по н/в.	ПК-1.3.4
27	Опишите подходы к научному определению термина «нанотехнология»	ПК-1.3.4
28	Какой вывод можно сделать о работах Ж.И. Алферова в области нанотехнологий	ПК-3.У.3
29	Опишите основные идеи Э. Дрекслера о роле нанотехнологий в развитии современного общества, изложенные в книге «Машины созидания»	ПК-1.3.4
30	Проанализируйте ожидаемые параметры наномеханических устройств.	ПК-3.У.3
31	Опишите принцип работы наноустройства в живых организмах (на примере молекулы «АТФ Синтаза»).	ПК-1.3.4
32	Опишите углерод в природе, в чем заключается его особая роль?	ПК-1.3.4
33	Опишите простейшие конструкции приборов и узлов отдельных различных наноустройств	ПК-1.3.4
34	Проанализируйте возможные пути применения приборов и машин МНТ	ПК-3.У.3
35	Опишите принципы самоорганизации, присущие наиболее распространенным объектам нанотехнологий	ПК-3.У.3
36	Опишите принципы самосборки, присущие наиболее распространенным объектам нанотехнологий	ПК-1.3.4
37	Проанализируйте использование самоорганизации в НТ. Основные свойства самоорганизующихся систем	ПК-3.У.3
38	Проанализируйте наноматериалы, наименования, назначение, основные определения, какие объекты к ним относятся?	ПК-3.У.3
39	Проанализируйте основные типы наноматериалов, разделение по признакам измерений и размерности	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
1	<p>Расскажите, какие составляющие микроскопа образуют оптическую часть:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- зеркало, конденсор, диафрагма ирис</li> <li>- штатив, кремальера, тубус, револьвер, предметный столик, микровинт, зеркало</li> <li>- окуляр, макровинт, тубус, ирисовая диафрагма, штатив, предметный столик</li> <li>- окуляр, объектив.</li> </ul>	ПК-3.У.3
2	<p>Почему иммерсионная среда улучшает условия освещения объектов? Потому что –</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-имеет одинаковую плотность с предметным стеклом, препятствует двойному лучепреломлению при прохождении пучка света;</li> <li>- имеет разную плотность с предметным стеклом, способствует двойному лучепреломлению при прохождении пучка света;</li> <li>- имеет одинаковую плотность с предметным стеклом, способствует двойному лучепреломлению при прохождении пучка света;</li> <li>- имеет разную плотность с предметным стеклом, препятствует двойному лучепреломлению при прохождении пучка света</li> </ul>	ПК-3.У.3
3	<p>Расскажите, для чего используется вогнутая поверхность зеркала:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- при отсутствии освещения</li> <li>- при сильном и равномерном освещении</li> <li>- при слабом освещении</li> <li>- при работе со специальным осветителем.</li> </ul>	ПК-3.У.3
4	<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>-возможностьцифрового 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>Проанализируйте, что такое разрешающая способность микроскопа?</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- общее увеличение микроскопа</li> <li>- минимальное расстояние между двумя точками, видимыми отдельно в оптическую систему</li> <li>- удвоенное произведение степеней увеличения окуляра и объектива</li> <li>- общее уменьшение микроскопа</li> </ul>	ПК-1.3.4
6	<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>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> <li>- совершенством отклоняющей системы;</li> <li>- длиной волны света.</li> </ul>	ПК-3.У.3
8	<p>Проанализируйте, чем определяется разрешающая способность электронного микроскопа:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- конструкцией системы изображения микроскопа;</li> <li>- устройством электронной пушки,</li> <li>- системой считывания результатов обработки измерений;</li> <li>- расстоянием пролета электрона;</li> <li>- скоростью пролета электрона.</li> </ul>	ПК-3.У.3
9	<p>Проанализируйте, чем объясняется высокая разрешающая способность электронного микроскопа:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-геометрическими размерами рабочей зоны;</li> <li>-использованием электронного потока вместо светового потока;</li> <li>-длиной волны электрона.</li> </ul>	ПК-3.У.3
10	<p>11. Проанализируйте, какая серия стандартов в настоящее время является основной для стандартов из области ИТ?</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a. серия 25000;</li> <li>b. серия 9000;</li> <li>c. серия 14000;</li> <li>d. серия 16000.</li> </ul>	ПК-3.У.3
11	<p>12. Установите основной стандарт на микроскопы</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a. 12207:1995;</li> <li>b. 56169:2014;</li> <li>c. 16326:1999;</li> <li>d. 90003:2004;</li> <li>e.15288:2002.</li> </ul>	ПК-1.3.4
12	<p>13. Установите аббревиатуру системы технологической</p>	ПК-1.3.4

	документации:	
	a. ЕСТД;	
	b. ЕСПД;	
	c. ЕСКД;	
	d. ЕСТПП.	

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

Таблица 19 – Перечень контрольных работ

№ п/п	Перечень контрольных работ
1	Специальные виды оптической микроскопии. Конфокальная микроскопия
2	Световая микроскопия. Новые направления
3	Цифровые микроскопы. Принцип работы
4	Порядок калибровки измерительного микроскопа
5	Как амплитуда рассеяния связана с интенсивностью рассеянного луча, который мы наблюдаем в микроскопе?
6	Каковы типичные Брегговские углы рассеяния в просвечивающей электронной микроскопии?
7	В чем фундаментальные отличия подходов Лауэ и Брегга к дифракции и в чем схожесть?
8	Каково соотношение между атомным фактором рассеяния $f(\theta)$ и структурным фактором рассеяния $F(\theta)$ ?
9	Почему упругое электро-электронное взаимодействие проявляется в рассеянии на малые углы, а взаимодействие электрона с ядрами приводит к рассеянию на большие углы?
10	Назовите основные компоненты магнитной линзы и опишите их функции.

## 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 лабораторной 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 лабораторной работе должен содержать: титульный лист, основную часть, выводы по результатам исследований .

На титульном листе должны быть указаны: название дисциплины, название лабораторной 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