

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
физики твердого тела и наноструктур  
(Середин П.В.)  
  
31.08.2022

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ  
Б1.В.ДВ.04.02 Наноматериалы со специальными физическими свойствами

1. Код и наименование направления подготовки/специальности: 03.03.02

Физика

2. Профиль подготовки/специализация:

Физика твердого тела

3. Квалификация выпускника: Бакалавр

4. Форма образования: очная

5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины:

физики твердого тела и наноструктур

6. Составители программы: Голощапов Дмитрий Леонидович,

кандидат физ.-мат. наук,

7. Рекомендована: НМС физического факультета протокол №6 от 14.06.2022

8. Учебный год: 2024–2025

Семестр: 6

## 9. Цели и задачи учебной дисциплины

*Целями освоения учебной дисциплины являются:*

формирование у обучающихся представлений о наноматериалах со специальными физическими свойствами, методиках экспериментального исследования их параметров и характеристик и способах модификации.

*Задачи учебной дисциплины:*

- сформировать фундаментальные знания о физических эффектах, присущих материалам в наноструктурированном состоянии, квантовых эффектах в наноструктурах, особенности физических взаимодействий на наномасштабах;
- изучить основные свойства наноматериалов: роль объема и поверхности в физических свойствах наноразмерных объектов, кулоновское взаимодействие, силы Ван-дер-Ваальса, оптику нанообъектов, соотношение длины волны света и размеров наночастиц, различия в распространении света в однородных и наноструктурированных средах, особенности магнитных свойств наночастиц;
- ознакомить с различными типами наноматериалов (углеродные нанотрубки, фуллерены, графен, аэрографит, аэрогель, нанокристаллы, оксидные наноматериалы) и развитие технологии получения наноматериалов: газофазный, плазменный и лазерный синтез углеродных и оксидных наноматериалов; золь-гель технология.
- изучить методы формирования упорядоченных структур с заданными свойствами: процессы эпитаксии (Молекулярно-лучевая эпитаксия, газофазная эпитаксия), квантовые точки, искусственное наноморфобразование (нановолокна, наноспираль, периодические квантовые твердотельные наноструктуры), пучковые и другие методы нанолитографии.
- сформировать навыки исследования параметров нанообъектов и наносистем и воздействия использованного современного аналитического оборудования: рентгеновские методы исследования наноматериалов, методы электронной, туннельной сканирующей зондовой и силовой микроскопии, оптической микроскопии ближнего поля, инфракрасной и Рамановской спектроскопии.
- овладеть информацией о технологии и систематизации наноматериалов и наноструктур.

**10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:** часть, формируемая участниками образовательных отношений, блок Б1.

В результате прохождения данной дисциплины обучающийся должен приобрести знания, умения, навыки профессиональных компетенций, необходимых для обеспечения трудовых функций профессиональных стандартов:

40.011 «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам»

– А/01.5 «Осуществление проведения работ по обработке и анализу научно-технической информации и результатов исследований»;

40.104 «Специалист по измерению параметров и модификации свойств наноматериалов и наноструктур»

– С/01.6 «Модернизация существующих и внедрение новых методов и оборудования для измерений параметров наноматериалов и наноструктур»;

**11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями) и индикаторами их достижения:**

Код	Название компетенции	Код(ы)	Индикатор(ы)	Планируемые результаты обучения
ПК-4	Способен модернизировать существующие и внедрять новые методы измерений параметров наноматериалов и наноструктур	ПК-4.1	Выбирает средства и методы измерений параметров наноматериалов и наноструктур	Знать: средства и методы измерений параметров наноматериалов и наноструктур
				Уметь: применять знания для выбора средств и методов измерений параметров наноматериалов и наноструктур
				Владеть: знаниями о назначении и устройстве по использованию средств и методов измерений параметров наноматериалов и наноструктур
ПК-5	Способен модернизировать существующие и внедрять новые процессы модификации наноматериалов и наноструктур	ПК-5.2	Применяет углубленные знания о структуре, физико-химических свойствах, конструкции и назначении наноматериалов и наноструктур	Знать: структуру, физико-химические свойства, конструкции и назначение наноматериалов и наноструктур
				Уметь: применять углубленные знания о структуре, физико-химических свойствах, конструкции и назначении наноматериалов и наноструктур
				Владеть: практическими навыками анализа структуры, физико-химических свойств, конструкций и назначении наноматериалов и наноструктур
ПК-5	Способен модернизировать существующие и внедрять новые процессы модификации наноматериалов и наноструктур	ПК-5.3	Оценивает воздействие использованного оборудования на наноматериалы и наноструктуры	Знать: представления о воздействии использованного оборудования на наноматериалы и наноструктуры
				Уметь: Оценивать воздействие использованного оборудования на наноматериалы и наноструктуры
				Владеть: навыками по оценке воздействия использованного оборудования на

				наноматериалы наноструктуры	и
--	--	--	--	--------------------------------	---

**12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час. — 2 / 72.**

**Форма промежуточной аттестации Зачет с оценкой**

**13. Трудоемкость по видам учебной работы**

Вид учебной работы		Трудоемкость	
		Всего	По семестрам
			6 семестр
Аудиторные занятия		42	42
в том числе:	лекции	14	14
	практические		
	лабораторные	28	28
	групповые консультации		
Самостоятельная работа		30	30
Форма промежуточной аттестации – зачет с оценкой			
Итого:		72	72

**13.1. Содержание дисциплины**

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины
<b>1. Лекции</b>		
1.1	Физические эффекты в материалах в наноструктурированном состоянии	Физические эффекты в материалах в наноструктурированном состоянии, квантовые эффекты в наноструктурах, особенности физических взаимодействий на наномасштабах. Классификация нанообъектов: нанокластеры, наночастицы, наноструктуры. Методы синтеза, структура, свойства и теоретические модели кластеров. Классификация наноструктур: нуль-, одно-, дву- и трехмерные наноструктуры. Основные свойства наноматериалов: роль объема и поверхности в физических свойствах наноразмерных объектов, кулоновское взаимодействие, силы Ван-дер-Ваальса, Особенности электрических и магнитных свойств нанопорошков. Фононный спектр в наночастицах. Теплоемкость и упругие свойства наночастиц.
1.2	Неупорядоченные наноструктуры	Различные типы наноматериалов (углеродные нанотрубки, фуллерены, графен, аэрографит, аэрогель, нанокристаллы, оксидные наноматериалы,) и развитие технологии получения наноматериалов: газофазный, плазменный и лазерный синтез углеродных и оксидных наноматериалов; золь-гель технология. Методы получения нанопорошков конденсацией в вакууме. Влияние температуры конденсации, давления и состава газа в камере на формирование материала в нанокристаллическом состоянии. Оборудование для производства нанопорошков. Методы выделения наночастиц заданного размера. Получение нанопорошков химическим и плазмохимическим осаждением из парогазовой фазы. Методы синтеза и выделения углеродных наноматериалов. Физические свойства нанотрубок. Компактирование нанопорошков. Особенности технологии прессования

		нанопорошков. Статическое и магнитно-импульсное прессование. Кристаллизация аморфных материалов.
1.3	Двумерные упорядоченные наноструктуры	Двумерные наноструктуры. Тонкие пленки: осаждение из газовой фазы, механизмы роста пленок. Физические методы осаждения пленок: молекулярно-лучевая эпитаксия, импульсное лазерное осаждение, распылительное осаждение. квантовые точки, искусственное нанотормобразование (нановолокна, наноспираль, периодические квантовые твердотельные наноструктуры), пучковые и другие методы нанолитографии. Методы химического осаждения пленок: химическое осаждение из газовой фазы, послойное осаждение, химическое осаждение из растворов, пленки Ленгмюра-Блоджетт.
1.4	Нanomатериалы со специальными свойствами	Свойства веществ в нанокристаллическом состоянии. Оптические и электронные свойства наносистем. Наночастицы металлов, плазмонный резонанс. Полупроводниковые наночастицы, Поверхность нанокристаллов, дефекты координации и барьерное ограничение. Фотонные кристаллы: размерность, методы формирования, использование. Магнитные свойства наносистем. Структура ферромагнетиков. Суперпарамагнетизм. Магнитная анизотропия. Магнитные наноматериалы. Механические свойства наносистем. Закон Холла-Петча. Дефекты в наноструктурированных материалах. Упругие свойства. Нанокomпозиты, Механические свойства углеродных нанотрубок. Процессы самоорганизации и самосборки в наносистемах. Сверхкластеры. Применение функциональных наноматериалов. Наномеханизмы и наноустройства. Микро- и нанoeлектромеханические системы. Наномеханика. Устройства для преобразования энергии: электростатические, магнитные, пьезoeлектрические, тепловые, гидравлические, сенсорные актуаторы, конструкция и особенности.
1.5	Исследование параметров нанобъектов и наносистем и степени воздействия на них использованного оборудования	Исследования параметров нанобъектов и наносистем и степени воздействия на них использованного современного функционального и аналитического оборудования: рентгеновские методы исследования наноматериалов, методы туннельной сканирующей зондовой и атомно-силовой микроскопии. Методы и возможности электронной микроскопии. Спектроскопические методы: радиоспектроскопия, микроволновая спектроскопия, ядерный магнитный и электронный парамагнитный резонанс, оптическая микроскопия ближнего поля, инфракрасная и Рамановская спектроскопия, рентгеновская и фотоэлектронная спектроскопия, Дифракционные методы: дифракция электронов, рентгенография
<b>2. Лабораторные работы</b>		
2.1	Физические эффекты в материалах в наноструктурированном состоянии	Лабораторная работа 1. Измерение электрофизических характеристик объемных и наноструктурированных материалов
2.2	Неупорядоченные наноструктуры	Лабораторная работа 2. получения тонких пленок и наноструктур методами химического осаждения из газовой фазы и электрохимическими методами.

2.3	Двумерные упорядоченные наноструктуры	Лабораторная работа 3. получения тонких пленок и наноструктур магнетронного и термического нанесения металлических и диэлектрических пленок
2.4	Нanomатериалы со специальными свойствами	Лабораторная работа 4. Измерение характеристик полупроводниковых наноматериалов на эффекте Холла Лабораторная работа 5. Исследование структуры наноматериалов методами рентгеноспектрального и рентгеноструктурного анализа
2.5	Исследование параметров nanoобъектов и наносистем и степени воздействия на них использованного оборудования	Лабораторная работа 6. Исследование морфологических параметров наноструктурированных материалов методом атомно-силовой микроскопии Лабораторная работа 7. Исследование наноструктур методом просвечивающей и сканирующей электронной микроскопии Лабораторная работа 8. Исследование параметров наноструктур методом Рамановской микроспектроскопии

### 13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (количество часов)					Всего
		Лекции	Практические	Лабораторные	Групповые консультации	Самостоятельная работа	
1	Физические эффекты в материалах в наноструктурированном состоянии	2		4		4	10
2	Неупорядоченные наноструктуры	2		4		4	12
3	Двумерные упорядоченные наноструктуры	4		4		6	14
4	Нanomатериалы со специальными свойствами	2		6		6	12
5	Исследование параметров nanoобъектов и наносистем и степени воздействия на них использованного оборудования	4		10		10	24
	Итого:	14		28		30	72

### 14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Изучение дисциплины «Нanomатериалы со специальными физическими свойствами» предусматривает осуществление учебной деятельности состоящей из двух частей: обучения студентов преподавателем и самостоятельной учебной деятельности студентов по изучению дисциплины.

В учебном процессе используются следующие образовательные технологии. По образовательным формам: лекции; лабораторные работы; индивидуальные занятия. По преобладающим методам и приемам обучения: объяснительно-иллюстративные (объяснение, показ–демонстрация учебного материала и др.); активные (анализ учебной и научной литературы, составление схем и др.) и интерактивные, в том числе и групповые (взаимное обучение в форме подготовки и обсуждения докладов); информационные; компьютерные; мультимедийные (работа с сайтами академических структур, научно-исследовательских организаций, электронных библиотек и др., разработка презентаций, сообщений и докладов, работа с электронными обучающими программами и т.п.).

Подготовка к лекциям является одним из видов самостоятельной работы студентов-магистров. Студентам, чтобы хорошо овладеть учебным материалом, необходимо выработать навыки правильной и планомерной работы. Перед началом лекционных

занятий надо просмотреть все, что было сделано в предыдущий раз. Это позволит сосредоточить внимание и восстановить в памяти уже имеющиеся знания по данному предмету. Кроме того, такой метод поможет лучше запомнить как старое, так и новое, углубит понимание того и другого, так как при этом устанавливаются связи нового со старым, что является не только обязательным, но и основным условием глубокого овладения материалом. Чем детальнее изучаемое ассоциируется с известным ранее, тем прочнее сохраняется в памяти и быстрее вспомнить, когда требуется.

Приступая к изучению нового материала, необходимо сосредоточиться, т.е. сконцентрировать внимание и не отвлекаться от выполняемой работы, помня, что желание запомнить является гарантией успешной работы, отсутствие же воли к запоминанию снижает эффект восприятия.

Следует помнить о том, что через лекцию передается не только систематизированный теоретический материал, но и постигается методика научного исследования и умение самостоятельно работать, анализировать различного рода явления.

Записывать на лекции необходимо главное, не стремясь зафиксировать все слово в слово. Выбрать же главное без понимания предмета невозможно. Наличие собственного конспекта лекций позволяет еще раз ознакомиться, продумать, разобраться в новом материале, так как недостаточно хорошо понятые во время лекции положения могут быть восстановлены в памяти, сопоставлены с другими, додуманы, дополнены, уяснены и расширены с помощью учебной литературы. Записи являются пособиями для повторения, дают возможность охватить содержание лекции и всего курса в целом.

При этом хорошо овладеть содержанием лекции – это:

- знать тему;
- понимать значение и важность ее в данном курсе;
- четко представлять план;
- уметь выделить основное, главное;
- усвоить значение примеров и иллюстраций;
- связать вновь полученные сведения о предмете или явлении с уже имеющимися;
- представлять возможность и необходимость применения полученных сведений.

Существует несколько общих правил работы на лекции:

- лекции по каждому предмету записывать удобнее в отдельных тетрадях, оставляя широкие поля для пометок;
- к прослушиванию лекций следует готовиться, что позволит в процессе лекции отделить главное от второстепенного;
- лекции необходимо записывать с самого начала, так как оно часто бывает ключом ко всей теме;
- так как дословно записать лекцию невозможно, то необходимо в конспекте отражать: формулы, определения, схемы, трудные места, мысли, примеры, факты и положения от которых зависит понимание главного, новое и незнакомое, неопубликованные данные, материал отсутствующий в учебниках и т.п.;
- записывать надо сжато;
- во время лекции важно непрерывно сохранять рабочую установку, умственную активность.

Изучение теоретического материала в данном курсе не ограничивается подготовкой к лекциям и работой на данном виде занятий. Лекционная часть курса органически взаимосвязана с иными видами работ: написанием рефератов, участием в лабораторных работы, подготовкой и сдачей зачета по дисциплине, в структуре которых также большое значение имеет самостоятельная работа студента.

Самостоятельная работа обучающихся наряду с аудиторной представляет одну из форм учебного процесса и является существенной ее частью, что наиболее ярко представлено в процессе подготовки магистров. Последнее обусловлено тем, что самостоятельная работа предназначена для формирования навыков самостоятельной

работах как вообще, так и в учебной, научной деятельности, формирование и развитие способности принимать на себя ответственность, самостоятельно решать проблему, находить конструктивные решения, выход из кризисной ситуации и т.д.

Самостоятельная работа формирует самостоятельность не только как совокупность умений и навыков, но и как черту характера, играющую существенную роль в структуре личности современного специалиста высшей квалификации. Она воспитывает самостоятельность как черту характера. Никакие знания, полученные на уровне пассивного восприятия, не ставшие объектом собственной умственной или лабораторной работы, не могут считаться подлинным достоянием человека.

Давая возможность расширять и обогащать знания, умения по индивидуальным направлениям, самостоятельная работа обучающегося позволяет создать разносторонних специалистов. В процессе самостоятельной работы развивают творческие возможности обучающегося, при этом самостоятельная работа завершает задачи всех видов учебной работы.

Самостоятельная работа - это планируемая работа обучающихся, выполняемая по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия. Преподаватель, ведущий занятия, организует, направляет самостоятельную работу обучающихся и оказывает им необходимую помощь. Однако самостоятельность обучающихся должна превышать объем работы, контролируемой преподавателем работы, и иметь в своей основе индивидуальную мотивацию обучающегося по получению знаний, необходимых и достаточных для будущей профессиональной деятельности в избранной сфере. Преподаватель при необходимости может оказывать содействие в выработке и коррекции данной мотивации, лежащей в основе построения самостоятельной деятельности обучающегося по изучению дисциплины, получению необходимых знаний и навыков.

Получение образования предполагает обучение решению задач определенной сферы деятельности. Однако как бы хорошо не обучались обучающиеся способам решения задач в аудитории, сформировать средства практической деятельности не удастся, так как каждый случай практики особый и для его решения следует выработать особый профессиональный стиль мышления.

Основой самостоятельной работы служит научно-теоретический курс, комплекс полученных обучающимся знаний. Основной, наиболее экономичной формой получения и усвоения информации, теоретических знаний в вузе является лекция, позволяющая воспринять значительную сумму основных знаний и потому способствующая повышению продуктивности всех других форм учебного труда.

Результат обучения и самостоятельной работы обучающегося предполагает наличие следующих составляющих:

- понимание методологических основ построения изучаемых знаний;
- выделение главных структур учебного курса;
- формирование средств выражения в данной области;
- построение методик решения задач и ориентации в проблемах (ситуациях).

Самостоятельная работа обучающихся при изучении «Нanomатериалы со специальными физическими свойствами» включает в себя: подготовку и участие в изучении теоретической части курса, выполнение лабораторных работ, подготовку к зачету.

Самостоятельная работа студента при изучении дисциплины «Нanomатериалы со специальными физическими свойствами» включает в себя:

изучение теоретической части курса	– 8 часов
подготовку к лабораторным занятиям	– 6 часов
написание отчетов по лабораторным работам	– 8 часов
подготовку к зачету	– 8 часов
итога	– 30 часов

## 15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины

### а) основная литература:

№ п/п	Источник
1.	Старостин, В. В. Наноматериалы со специальными физическими свойствами: учебное пособие / В. В. Старостин; под общей редакцией Л. Н. Патрикеева. – 2-е изд. – Москва: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2017. – 431 с
2.	Методы компактирования и консолидации наноструктурных материалов и изделий : учебное пособие / О. Л. Хасанов, Э. С. Двилис, З. Г. Бикбаева, А. А. Качаев. — 3-е изд. — Москва : Лаборатория знаний, 2020. — 272 с. — ISBN 978-5-00101-716-5. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/135502">https://e.lanbook.com/book/135502</a>
3.	Методы получения и свойства нанообъектов : учебное пособие / Н. И. Минько, В. В. Строкова, И. В. Жерновский, В. М. Нарцев. — 3-е изд., стер. — Москва : ФЛИНТА, 2019. — 165 с. — ISBN 978-5-9765-0326-7. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/119402">https://e.lanbook.com/book/119402</a>
4.	Методы получения и исследования наноматериалов и наноструктур. Лабораторный практикум по нанотехнологиям : учебное пособие / Е.Д. Мишина [и др.]. — Москва : Лаборатория знаний, 2021. — 185 с. — ISBN 978-5-93208-545-5. — Текст : электронный //Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/166740">https://e.lanbook.com/book/166740</a>
5.	Андриевский, Р. А. Основы наноструктурного материаловедения. Возможности и проблемы : монография / Р. А. Андриевский. — 4-е изд. — Москва : Лаборатория знаний, 2020. — 255 с. — ISBN 978-5-00101-906-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/151512">https://e.lanbook.com/book/151512</a>

### б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
6.	Рыжонков, Д. И. Наноматериалы : учебное пособие / Д. И. Рыжонков, В. В. Лёвина, Э. Л. Дзидзигури ; художник С. Инфантэ. — 6-е изд. — Москва : Лаборатория знаний, 2021. — 368 с. — ISBN 978-5-93208-550-9. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/176410">https://e.lanbook.com/book/176410</a>
7.	Иванов, Н. Б. Нанотехнологии материалов и покрытий : учебное пособие / Н. Б. Иванов, Н. А. Покалюхин. — Казань : КНИТУ, 2019. — 236 с. — ISBN 978-5-7882-2538-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/166186">https://e.lanbook.com/book/166186</a>
8.	Звонарев, С. В. Функциональные и конструкционные наноматериалы : учебно-методическое пособие / С. В. Звонарев. — Екатеринбург : УрФУ, 2018. — 132 с. — ISBN 978-5-7996-2474-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/170133">https://e.lanbook.com/book/170133</a>
9.	Ковалев, А. Н. Физика и технология наноструктурных гетерокомпозиций : учебник / А. Н. Ковалев, О. И. Рабинович, М. И. Тимошина. — Москва : МИСИС, 2015. — 460 с. — ISBN 978-5-87623-941-9. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/93630">https://e.lanbook.com/book/93630</a>
10.	Рабинович, О. И. Физико-химические основы процессов микро-и нанотехнологий : учебно-методическое пособие / О. И. Рабинович. — Москва : МИСИС, 2015. — 88 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/116640">https://e.lanbook.com/book/116640</a>
11.	Дзидзигури, Э. Л. Процессы получения наночастиц и наноматериалов. Нанотехнологии : учебное пособие / Э. Л. Дзидзигури, Е. Н. Сидорова. — Москва : МИСИС, 2012. — 71 с. — ISBN 978-5-87623-605-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/47445">https://e.lanbook.com/book/47445</a>
12.	Панфилов, Ю. В. Наноинженения : учебное пособие : в 17 книгах / Ю. В. Панфилов, К. М. Моисеев, В. П. Михайлов. — Москва : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011 — Книга 3 : Высоковакуумные технологические процессы в наноинженерии — 2011. — 192 с. — ISBN 978-5-7038-3494-7. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/106502">https://e.lanbook.com/book/106502</a>
13.	Баранов А.В., Маслов В.Г., Орлова А.О., Федоров А.В. Практическое использование

	наноструктур - Санкт-Петербург: СПб: НИУ ИТМО, 2014. - 102 с.
14.	Ищенко А.А., Нанокремний: свойства, получение, применение, методы исследования и контроля / Ищенко А.А., Фетисов Г.В., Асланов Л.А. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2011. - 648 с. - ISBN 978-5-9221-1369-4
15.	Наноматериалы и нанотехнологии [Текст] : учебное пособие / В. С. Кирчанов ; М-во образования и науки Российской Федерации, Федеральное гос. бюджетное образовательное учреждение высш. образования "Пермский нац. исследовательский политехнический ун-т". - Пермь : Изд-во Пермского нац. исследовательского политехнического ун-та, 2016. - 240 с. : ил., табл.; 21 см.; ISBN 978-5-398-01617-8 : 100 экз.
16.	Валянский, С. И. Современные методы исследования наноструктур: Метод оптической поверхностно-плазмонной микроскопии : учебно-методическое пособие / С. И. Валянский, Е. К. Наими. — Москва : МИСИС, 2011. — 173 с. — ISBN 978-5-87623-460-5. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/116478">https://e.lanbook.com/book/116478</a>
17.	Растровая электронная микроскопия для нанотехнологий. Методы и применение : сборник научных трудов / под редакцией У. Жу, Ж. Л. Уанга ; перевод с английского С. А. Иванова, К. И. Домкина ; художник Н. А. Новак. — 4-е изд. — Москва : Лаборатория знаний, 2021. — 601 с. — ISBN 978-5-00101-142-2. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/166756">https://e.lanbook.com/book/166756</a>

в) информационные электронно-образовательные ресурсы (официальные ресурсы интернет)\*:

№ п/п	Ресурс
18.	<a href="http://www.lib.vsu.ru">http://www.lib.vsu.ru</a> – Зональная научная библиотека ВГУ
19.	<a href="http://www.moodle.vsu.ru">http://www.moodle.vsu.ru</a>
20.	<a href="https://e.lanbook.com">https://e.lanbook.com</a> – ЭБС «Лань»
21.	<a href="https://biblioclub.ru">https://biblioclub.ru</a> – ЭБС «Университетская библиотека онлайн»
22.	<a href="http://www.iprbookshop.ru">www.iprbookshop.ru</a> – ЭБС «IPRbooks»
23.	<a href="https://elibrary.ru">https://elibrary.ru</a> – Научная электронная библиотека

## 16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы

№ п/п	Источник
24.	Ремпель, А. А. Наноматериалы со специальными физическими свойствами : учебное пособие / А. А. Ремпель, А. А. Валева. — Екатеринбург : УрФУ, 2015. — 136 с. — ISBN 978-5-7996-1401-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/99097">https://e.lanbook.com/book/99097</a>
25.	Смирнов, В. И. Физические основы нанотехнологий и наноматериалы : учебное пособие / В. И. Смирнов. — Ульяновск : УлГТУ, 2017. — 240 с. — ISBN 978-5-9795-1731-5. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/165058">https://e.lanbook.com/book/165058</a>
26.	Кирчанов, В. С. Наноматериалы и нанотехнологии : учебное пособие / В. С. Кирчанов. — Пермь : ПНИПУ, 2016. — 241 с. — ISBN 978-5-398-01617-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/160880">https://e.lanbook.com/book/160880</a>
27.	Векилова, Г. В. Дифракционные и микроскопические методы и приборы для анализа наночастиц и наноматериалов : учебно-методическое пособие / Г. В. Векилова, А. Н. Иванов, Ю. Д. Ягодкин. — Москва : МИСИС, 2009. — 145 с. — ISBN 978-5-87623-228-1. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/116630">https://e.lanbook.com/book/116630</a>
28.	Исследование наноструктурированных материалов методом растровой электронной микроскопии : учебно-методическое пособие для вузов : / Воронеж. гос. ун-т ; сост. : Ю.А. Юраков, А.С. Леньшин, П.В. Середин. — Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2014. — 13 с. : ил URL: <a href="http://www.lib.vsu.ru/elib/texts/method/vsu/m14-26.pdf">http://www.lib.vsu.ru/elib/texts/method/vsu/m14-26.pdf</a> .

17. Образовательные технологии, используемые при реализации учебной дисциплины, включая дистанционные образовательные технологии (ДОТ), электронное обучение (ЭО), смешанное обучение):

В учебном процессе используются следующие образовательные технологии. По образовательным формам: лекции; лабораторные работы, индивидуальные занятия. По преобладающим методам и приемам обучения: объяснительно-иллюстративные (объяснение, показ–демонстрация учебного материала и др.); активные (анализ учебной и научной литературы и др.) и интерактивные, в том числе и групповые (взаимное обучение в форме подготовки и обсуждения докладов); информационные; компьютерные; мультимедийные (работа с сайтами академических структур, научно-исследовательских организаций, электронных библиотек и др., разработка презентаций, сообщений и докладов, работа с электронными обучающими программами и т.п.).

## **18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:**

Лаборатория учебного практикума (ауд 129.) Совместная лаборатория "Электронное строение твердого тела" (лаб. 129):

Лабораторный стенд для получения тонких пленок и наноструктур методами химического осаждения из газовой фазы и электрохимическими методами - 1 шт.;

вакуумная технологическая установка для магнетронного и термического нанесения металлических и диэлектрических пленок - 1 шт.; электропечь ПТК-1,4-40 с контролируемой атмосферой и автоматизированным управлением для получения материалов с заданными стехиометрией - 1 шт.;

Совместная лаборатория физики наногетероструктур и полупроводниковых материалов (лаб. 28):

Дистиллятор лабораторный АЗ-14 «Я-ФП»-01 – 1 шт.; Центрифуга лабораторная ЦЛн-16 – 1 шт.; Магнитная мешалка с подогревом MagicLAB – US-1500D – 1 шт.; Импедансметр Z-1500J – 1шт.; Диспергатор роторный – Ika-T18D – 1шт.; рН-метр/ионометр ИПЛ 111-1 – 1 шт., Печь Nabertherm-LE – 1 шт.; Печь LIOP-LF – 1 шт.; Ванна ультразвуковая -CT431D2 – 1шт.; Источник тока GWInstek PSW7 800-2.88 – 1 шт.; Источник тока GWInstek GPR – 30H10D – 1 шт, Лабораторные стенды для импеданс-спектроскопии - LCR-спектрометр Elins-1500 - 1 шт, LCR-спектрометр GWInstek LCR-819 - 1 шт.; Рамановский спектрометр РамМикс 532 - 1 шт.; Установка для измерения параметров полупроводниковых материалов на эффекте Холла HMS-2000 - 1 шт.; Оптический микроскоп-твердомер ПМТ-3 – 1 шт.; Интерферометр МИИ-4 – 1 шт.

Совместная лаборатория "Электронное строение твердого тела" (лаб. 123):

Набор эталонных неорганических материалов и структур - 1 шт; Набор эталонных неорганических наноматериалов и наноструктур - 1 шт; Электропечь трубчатая с контролируемой атмосферой ПТК-1,2-40 с функцией нагрева по траектории - 1 шт; Набор специализированных установочных площадок для синхротронных исследований - 1 шт.; - Термоконтроллер с функцией нагрева по траектории - 1 шт.;

Лаборатория рентгеноспектрального и рентгеноструктурного анализа (к. 26)

Рентгеновский дифрактометр ДРОН – 4-07- 1 шт.;

Лаборатория рентгеноспектрального и рентгеноструктурного анализа (к. 21)

Рентгеновский дифрактометр Радиан ДР-023- 1 шт.; Спектрометр универсальный рентгеновский «Реном» СУР-01 - 1 шт; лабораторная установка Leybold rontgengerat X-ray apparatus 554800 - 1 шт.

Лаборатория спецпрактикумов кафедры ФТТИНС (к.126)

Мультимедийная доска TriumphBord78"MultiTouch – 1 шт; Лабораторный стенд для исследования эффекта Холла - 1 шт; Лабораторный стенд для исследования эффекта термо-ЭДС - 1 шт; Лабораторный стенд для исследования электропроводности полупроводников - 1 шт; Лабораторный стенд для исследования свойств р-п перехода - 1 шт; Лабораторный стенд для исследования терморезистора - 1 шт; Лабораторный стенд для исследования фотодиода - 1 шт; Лабораторный стенд для исследования туннельного диода - 1 шт; Лабораторный стенд для исследования фоторезистора - 1 шт;

Спектрофотометр СФ-56А - 1 шт.; Осциллограф цифровой Rohde&SchwarzНМО 3054 - 1 шт.; Осциллограф цифровой Rohde&SchwarzНМО 1002 - 1 шт.;

Лабораторный стенд для исследования вольт-амперных и вольт-фарадных характеристик гетероструктур - 2 шт.;

Лаборатория сканирующей зондовой наноскопии и нанотехнологий атомно-силовой микроскоп SOLVER P47 PRO

Лаборатория рентгеноструктурных исследований ЦКПНО ВГУ (к.55) рентгеновский дифрактометрEmpyrean (PANalytical) - 1 шт.;

Лаборатория рентгеновской дифрактометрии ЦКПНО ВГУ (к 53) Рентгеновский дифрактометрARL X'TRA (ThermoScientific)

Лаборатория электронной микроскопии (к.43) Просвечивающий электронный микроскоп Libra120 (Carl Zeiss)

Лаборатория электронной микроскопии ЦКПНО ВГУ (к.7) Растровый электронный микроскоп JEOL JSM-6380LV с микроанализатором OxfordInstruments - 1 шт.;

Лаборатория рентгеноспектрального и рентгеноструктурного анализа (лаб. 25) рентгеновский спектрометр-монохроматор РСМ-500 - 1 шт.;

Реализация дисциплины с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий осуществляется через образовательный портал "Электронный университет ВГУ".

## 19. Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестаций

Порядок оценки освоения обучающимися учебного материала определяется содержанием следующих разделов дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
1.	Физические эффекты в материалах в наноструктурированном состоянии	ПК-4	ПК-4.1	Лабораторная работа 1
2.	Неупорядоченные наноструктуры	ПК-4	ПК-4.1	Лабораторная работа 2
		ПК-5	ПК-5.2	
3.	Двумерные упорядоченные наноструктуры	ПК-4	ПК-4.1	Лабораторная работа 3
		ПК-5	ПК-5.2	
4.	Наноматериалы со специальными свойствами	ПК-4	ПК-4.1	Лабораторные работы 4,5
		ПК-5	ПК-5.2	
		ПК-5	ПК-5.3	
5.	Исследование параметров нанобъектов и наносистем и степени воздействия на них использованного оборудования	ПК-5	ПК-5.2	Лабораторные работы 6– 8
		ПК-5	ПК-5.3	
Промежуточная аттестация форма контроля – зачет с оценкой				Перечень вопросов

## 20 Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания

### 20.1 Текущий контроль успеваемости

Текущий контроль успеваемости по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств: отчеты о выполнении лабораторных работ.

## Перечень тем лабораторных работ

Лабораторная работа 1. Измерение электрофизических характеристик объемных и наноструктурированных материалов

Лабораторная работа 2. получения тонких пленок и наноструктур методами химического осаждения из газовой фазы и электрохимическими методами.

Лабораторная работа 3. получения тонких пленок и наноструктур магнетронного и термического нанесения металлических и диэлектрических пленок

Лабораторная работа 4. Измерение характеристик полупроводниковых наноматериалов на эффекте Холла

Лабораторная работа 5. Исследование структуры наноматериалов методами рентгеноспектрального и рентгеноструктурного анализа

Лабораторная работа 6. Исследование морфологических параметров наноструктурированных материалов методом атомно-силовой микроскопии

Лабораторная работа 7. Исследование наноструктур методом просвечивающей и сканирующей электронной микроскопии

Лабораторная работа 8. Исследование параметров наноструктур методом Рамановской микроспектроскопии

Для текущего контроля успеваемости используется устный опрос, отчеты о ходе выполнения лабораторных работ, на основе которых выставляется предварительная оценка *отлично/хорошо/удовлетворительно/неудовлетворительно*.

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала предварительных оценок
Обучающийся в полной мере владеет понятийным аппаратом данной области науки (теоретическими основами дисциплины), способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований, применять теоретические знания для выполнения лабораторных работ	Повышенный уровень	<i>Отлично</i>
Обучающийся владеет понятийным аппаратом данной области науки (теоретическими основами дисциплины), допускает незначительные ошибки при выполнении лабораторных работ	Базовый уровень	<i>Хорошо</i>
Обучающийся владеет частично теоретическими основами дисциплины, фрагментарно способен выполнять лабораторные работы	Пороговый уровень	<i>Удовлетворительно</i>
Неудовлетворительное выполнение тестовых заданий. Обучающийся демонстрирует отрывочные, фрагментарные знания, допускает грубые ошибки при выполнении лабораторных работ	–	<i>Неудовлетворительно</i>

### 20.2 Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

## Перечень вопросов к зачету

1. Физические эффекты в материалах в наноструктурированном состоянии. Классификация нанобъектов: нанокластеры, наночастицы, наноструктуры.
2. Методы синтеза, структура, свойства и теоретические модели кластеров. Классификация наноструктур: нуль-, одно-, дву- и трехмерные наноструктуры.
3. Основные свойства наноматериалов: роль объема и поверхности в физических свойствах наноразмерных объектов, кулоновское взаимодействие, силы Ван-дер-Ваальса,
4. Различные типы наноматериалов (углеродные нанотрубки, фуллерены, графен, аэрографит, аэрогель, нанокристаллы, оксидные наноматериалы,)
5. развитие технологии получения наноматериалов: газофазный, плазменный и лазерный синтез углеродных и оксидных наноматериалов; золь-гель технология.
6. Методы получения нанопорошков конденсацией в вакууме. Влияние температуры конденсации, давления и состава газа в камере на формирование материала в нанокристаллическом состоянии.
7. Оборудование для производства нанопорошков. Методы выделения наночастиц заданного размера. Получение нанопорошков химическим и плазмохимическим осаждением из парогазовой фазы. Методы синтеза и выделения углеродных наноматериалов.
8. Физические свойства нанотрубок. Компактирование нанопорошков. Особенности технологии прессования нанопорошков.. Кристаллизация аморфных материалов.
9. Двумерные наноструктуры. Тонкие пленки: осаждение из газовой фазы, механизмы роста пленок.
10. Физические методы осаждения пленок: молекулярно-лучевая эпитаксия, импульсное лазерное осаждение, распылительное осаждение. квантовые точки, искусственное наноморфобразование (нановолокна, наноспираль, периодические квантовые твердотельные наноструктуры),
11. Пучковые и другие методы нанолитографии.
12. Методы химического осаждения пленок: химическое осаждение из газовой фазы, послойное осаждение, химическое осаждение из растворов, пленки Ленгмюра-Блоджетт.
13. Свойства веществ в нанокристаллическом состоянии. Оптические и электронные свойства наносистем. Наночастицы металлов, плазмонный резонанс.
14. Полупроводниковые наночастицы, Поверхность нанокристаллов, дефекты координации и барьерное ограничение.
15. Фотонные кристаллы: размерность, методы формирования, использование.
16. Магнитные свойства наносистем. Структура ферромагнетиков. Суперпарамагнетизм. Магнитная анизотропия. Магнитные наноматериалы.
17. Механические свойства наносистем. Закон Холла-Петча. Дефекты в наноструктурированных материалах. Упругие свойства. Наноконпозиты, Механические свойства углеродных нанотрубок.
18. Процессы самоорганизации и самосборки в наносистемах. Сверхкластеры. Применение функциональных наноматериалов.
19. Наномеханизмы и наноустройства. Микро- и наноэлектромеханические системы. Наномеханика. Устройства для преобразования энергии: электростатические, магнитные, пьезоэлектрические, тепловые, гидравлические, сенсорные актюаторы, конструкция и особенности.
20. Исследования параметров нанобъектов и наносистем и степени воздействия на них использованного современного функционального и аналитического оборудования: рентгеновские методы исследования наноматериалов,

21. Методы туннельной сканирующей зондовой и атомно-силовой микроскопии.
22. Методы и возможности электронной микроскопии.
23. Спектроскопические методы: радиоспектроскопия, микроволновая спектроскопия, ядерный магнитный и электронный парамагнитный резонанс,
24. оптическая микроскопия ближнего поля, инфракрасная и Рамановская спектромикроскопия, рентгеновская и фотоэлектронная спектроскопия
25. Дифракционные методы: дифракция электронов, рентгенография

### Описание технологии проведения промежуточной аттестации

Промежуточная аттестация по дисциплине – зачет с оценкой. В приложение к диплому вносится оценка *отлично/хорошо/удовлетворительно*.

Оценка уровня освоения дисциплины «Наноматериалы со специальными физическими свойствами» осуществляется по следующим показателям:

- качество и своевременность выполнения лабораторных работ;
- полнота ответов на вопросы контрольно-измерительного материала;
- полнота ответов на дополнительные вопросы.

Критерии оценки освоения дисциплины «Наноматериалы со специальными физическими свойствами»:

– оценка *отлично* выставляется при полном соответствии работы студента всем вышеуказанным показателям. Соответствует высокому (углубленному) уровню сформированности компетенций: компетенции сформированы полностью, проявляются и используются систематически, в полном объеме. Данный уровень превосходит, по крайней мере, по одному из перечисленных выше показателей повышенный (продвинутый) уровень;

– оценка *хорошо* выставляется в случае, если работа студента при освоении дисциплины не соответствует одному из перечисленных показателей или в случае предоставления курсовых работ и отчетов по лабораторным работам позже установленного срока. Соответствует повышенному (продвинутому) уровню сформированности компетенций: компетенции в целом сформированы, но проявляются и используются фрагментарно, не в полном объеме. Данный уровень превосходит, по крайней мере, по одному из перечисленных выше показателей пороговый (базовый) уровень;

– оценка *удовлетворительно* выставляется в случае, если работа студента при освоении дисциплины не соответствует любым двум из перечисленных показателей. Соответствует пороговому (базовому) уровню сформированности компетенций: компетенции сформированы в общих чертах, проявляются и используются ситуативно, частично. Данный уровень обязателен для всех осваивающих основную образовательную программу;

– оценка *неудовлетворительно* выставляется в случае несоответствия работы студента всем показателям, его неорганизованности, безответственности и низкого качества работы при выполнении лабораторных работ, предусмотренных программой дисциплины.

Факт невыполнения требований, предъявляемых к студенту при освоении дисциплины «Наноматериалы со специальными физическими свойствами» и отраженных в вышеперечисленных критериях, фиксируется в ведомости оценкой *неудовлетворительно*.

Если студент не осваивает дисциплину в установленном программой объеме и в сроки, определенные графиком учебного процесса, он не допускается к промежуточной аттестации по данному виду учебной работы.