

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

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

03.06.2025

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.В.02 Технология наноструктур и наноматериалов

Код и наименование дисциплины в соответствии с учебным планом

1. Код и наименование направления подготовки/специальности:

03.04.02 Физика

2. Профиль подготовки/специализация: Физика наносистем

3. Квалификация (степень) выпускника: Магистр

4. Форма обучения: Очная

5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины: кафедра физики твердого
тела и наноструктур

6. Составители программы: Юраков Юрий Алексеевич, доктор физ.-мат. наук, старший
научный сотрудник
(ФИО, ученая степень, ученое звание)

7. Рекомендована: НМС физического факультета ВГУ от 30.05.25 г. протокол №5

(наименование рекомендующей структуры, дата, номер протокола,

отметки о продлении вносятся вручную)

8. Учебный год: 2026-2027

Семестр(ы): 3

9. Цели и задачи учебной дисциплины:

Цель дисциплины состоит в формировании систематических знаний в области фундаментальных принципов, определяющих структуру и свойства квантовых низкоразмерных систем, а также о явлениях и процессах в наноструктурах, использующихся в разработках различного назначения.

Задачи дисциплины заключаются в освоении принципов методик формирования наноструктур, способов контроля структурных и электронных свойств наноматериалов, а также в развитии умений и навыков самостоятельной работы в области технологии наноструктур и наноматериалов.

10. Место учебной дисциплины в структуре ООП: Дисциплина «Технология наноструктур и наноматериалов» включена в число обязательных дисциплин вариативной части блока Б1.В по направлению подготовки 03.04.02 Физика. При изучении дисциплины студент закрепляет знания, умения и навыки, полученные при изучении общепрофессиональных дисциплин и получает знания, умения и навыки, необходимые при изучении специальных дисциплин.

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

Компетенция		Планируемые результаты обучения
Код	Название	
ПК-2	Способность свободно владеть разделами физики, необходимыми для решения научно-инновационных задач, и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности	Знать физические идеи и принципы современной нанотехнологии, физические свойства низкоразмерных электронных систем, важнейшие физические процессы и явления, составляющие фундаментальную основу нанотехнологии, основные области применения наноструктур; уметь решать задачи моделирования наноструктур
ПК-3	Способность принимать участие в разработке новых методов и методических подходов в научно-инновационных исследованиях и инженерно-технологической деятельности	Владеть основными существующими моделями, теориями различных физических явлений, лежащих в основе функционирования наноструктур

12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час.(в соответствии с учебным планом) —
__3__ / 108 __.

Форма промежуточной аттестации (зачет/экзамен) Экзамен.

13. Виды учебной работы

Вид учебной работы	Трудоемкость			
	Всего	По семестрам		
		№ семестра	№ семестра	3 семестр
Аудиторные занятия	24			24
в том числе: лекции	12			12
практические				
лабораторные	12			12
Самостоятельная работа	48			48
Контроль	36			36
Форма промежуточной аттестации (зачет – 0 час. / экзамен – ___ час.)	экзамен			экзамен
Итого:	108			108

13.1. Содержание дисциплины

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины
1. Лекции		
1.1	Свойства индивидуальных наночастиц	Металлические нанокластеры. Магические числа. Теоретическое моделирование наночастиц. Геометрические структуры. Электронные структуры металлических нанокластеров. Химическая активность. Флуктуации. Магнитные кластеры. Переход от объемных к наносвойствам. Полупроводящие наночастицы: оптические свойства, фотофрагментация, кулоновский взрыв. Методы синтеза нанокластеров: ВЧ плазма, химические методы, термолиз, метод импульсного лазера.
1.2	Объемные наноструктурированные материалы	Твердотельные неупорядоченные наноструктуры. Методы синтеза: спинингование, газовая атомизация, гальваническое осаждение. Механизм разрушения материалов, содержащих зерна обычных размеров. Механические свойства. Наноструктурированные многослойные материалы. Электрические и другие свойства. Композитные стекла с нанокластерами металлов. Пористый кремний. Наноструктурированные кристаллы. Природные нанокристаллы. Компьютерное предсказание решеток кластеров. Упорядоченные структуры наночастиц в цеолитах. Кристаллы из металлических наночастиц.
1.3	Наноструктуры углерода	Молекулы углерода. Природа углеродной связи. Новые углеродные структуры. Углеродные кластеры. Малые углеродные кластеры. Открытие фуллерена C ₆₀ . Структура C ₆₀ и ее кристалл. C ₆₀ , легированный щелочными металлами. Сверхпроводимость в C ₆₀ . Большие и

		малые фуллерены. Другие структуры. Углеродные нанотрубки. Методы получения. Структура. Кресельные, зигзаговые, хиральные трубки. Электрические свойства. Углеродные нанотрубки. Колебательные свойства. Механические свойства. Применения углеродных нанотрубок. Полевая эмиссия и экранирование. Компьютеры. Топливные элементы. Химические сенсоры. Катализ. Механическое упрочнение.
2. Практические занятия		
2.1		
2.2		
3. Лабораторные работы		
3.1	Объемные наноструктурированные материалы	1. Получение пористого кремния. 2. Исследование наноструктурированных материалов методом растровой электронной микроскопии. 3. Исследование пористого кремния методом инфракрасной спектроскопии

13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (часов)				
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	Всего
	Свойства индивидуальных наночастиц	6			16	22
	Объемные наноструктурированные материалы	6		12	16	34
	Наноструктуры углерода				16	16
	Итого:	12		12	48	72

14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

(рекомендации обучающимся по освоению дисциплины: работа с конспектами лекций, презентационным материалом, выполнение практических заданий, тестов, заданий текущей аттестации и т.д.)

Дисциплина «Технология наноструктур и наноматериалов» реализуется с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий.

15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины (список литературы оформляется в соответствии с требованиями ГОСТ и используется общая сквозная нумерация для всех видов источников)

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	Рамбиди Н.Г. Физические и химические основы нанотехнологий / Н.Г. Рамбиди, А.В. Берёзкин. – М. : Физматлит, 2009. – 454 с.
2	Мартинес – Дуарт Дж. М. Нанотехнологии для микро- и оптоэлектроники / Дж. М. Мартинес – Дуарт, Р. Дж. Мартин-Палма, Ф. Агулло – Руеда; пер. с англ. под ред. Е. Б. Якимова. – М. : Техносфера, 2007. – 367 с.
3	Герасименко Н. Н. Кремний – материал нанoeлектроники / Н. Н.

	Герасименко, Ю. Пархоменко. - М. : Техносфера, 2007. – 357 с
--	--

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
4	Пул Ч. Нанотехнологии / Ч. Пул, Ф. Оуэнс. - М. : Техносфера, 2006. – 306 с
5	Раков Э. Г. Нанотрубки и фуллерены / Э. Г. Раков. – М. : Логос, 2006. - 374 с
6	Гусев А. И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии / А.И. Гусев. – М. : Физматлит, 2005. – 410 с
7	Растровая электронная микроскопия и рентгеновский микроанализ / пер. с англ. ; под ред. В.И.Петрова. - М.: Мир, 1984. - Т. 1. 303 с
8	Растровая электронная микроскопия и рентгеновский микроанализ / пер. с англ. ; под ред. В.И.Петрова. - М.: Мир, 1984. - Т. 2. 348 с
9	Смит А. Прикладная ИК-спектроскопия / А. Смит. – М.: Мир, 1982. – 328 с
10	Накамото К. ИК-спектры и спектры КР неорганических и координационных соединений / К. Накамото. – М.: Мир, 1991. – 535 с

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

№ п/п	Ресурс
1.	www.lib.vsu.ru – ЗНБ ВГУ
2.	Федеральный портал «Российское образование» http://www.edu.ru
3.	https://edu.vsu.ru – Образовательный портал "Электронный университет ВГУ"

* Вначале указываются ЭБС, с которыми имеются договора у ВГУ, затем открытые электронно-образовательные ресурсы

16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы
(учебно-методические рекомендации, пособия, задачки, методические указания по выполнению практических (контрольных) работ и др.)

№ п/п	Источник
1	Юраков Ю.А. Получение пористого кремния. Учебно-методическое пособие для вузов / Ю.А. Юраков, А.С. Леньшин, П.В. Середин. - Воронеж: ВГУ, 2014. - 14 с.
2	Юраков Ю.А. Исследование наноструктурированных материалов методом растровой электронной микроскопии. Учебно-методическое пособие для вузов / Ю.А. Юраков, А.С. Леньшин, П.В. Середин. - Воронеж: ВГУ, 2014. - 14 с.
3	Юраков Ю.А. Исследование пористого кремния методом инфракрасной спектроскопии. Учебно-методическое пособие для вузов / Ю.А. Юраков, А.С. Леньшин, П.В. Середин. - Воронеж: ВГУ, 2014. - 14 с.

17. Информационные технологии, используемые для реализации учебной дисциплины, включая программное обеспечение и информационно-справочные системы (при необходимости)

18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

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

Лабораторный стенд для получения тонких пленок и наноструктур электрохимическими методами - 1 шт.

Вакуумная технологическая установка для магнетронного и термического нанесения металлических и диэлектрических тонких пленок и наноматериалов - 1 шт..

Электропечь ПТК-1,4-40 с контролируемой атмосферой и автоматизированным управлением для получения материалов с заданными составом и свойствами - 1 шт.

Дифрактометры рентгеновские ДРОН-4М с цифровой обработкой данных; Радиан ДР - 0,2 с флуоресцентным рентгеновским спектрометром; база данных PDF-2012 для анализа элементного, фазового состава, структуры и субструктуры тонких пленок и наноматериалов.

Ультратонкий рентгеновский спектрометр РСМ-500 с цифровой системой сбора данных для анализа элементного и фазового состава, структуры и субструктуры тонкопленочных материалов и наноструктур.

Инфракрасный Фурье-спектрометр VERTEX-70 (ЦКП НО ВГУ).

Растровый электронный микроскоп JEOL JSM-6380 LV (ЦКП НО ВГУ).

Ноутбук Toshiba Satellite A200-1M5, проектор InFocus LP70+.

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

19. Фонд оценочных средств:

19.1. Перечень компетенций с указанием этапов формирования и планируемых результатов обучения

Код и содержание компетенции (или ее части)	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенции посредством формирования знаний, умений, навыков)	Этапы формирования компетенции (разделы (темы) дисциплины или модуля и их наименование)	ФОС* (средства оценивания)
ПК-2, способность свободно владеть разделами физики, необходимыми для решения научно-инновационных задач, и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности;	Знать: физические идеи и принципы современной нанотехнологии, физические свойства низкоразмерных электронных систем, важнейшие физические процессы и явления, составляющие фундаментальную основу нанотехнологии, основные области применения наноструктур	1.1. Свойства индивидуальных наночастиц	Устный опрос
ПК-3, способность принимать участие в разработке новых методов	Уметь: решать задачи моделирования наноэлектронных структур; владеть: основными существующими	1.2 Объемные наноструктурированные материалы. 1.3. Наноструктуры углерода	Устный опрос, отчет о лабораторных работах

и методических подходов в научно-инновационных исследованиях и инженерно-технологической деятельности	моделями, теориями различных физических явлений, лежащих в основе функционирования наноструктур		
Промежуточная аттестация			КИМ

* В графе «ФОС» в обязательном порядке перечисляются оценочные средства текущей и промежуточной аттестаций.

19.2 Описание критериев и шкалы оценивания компетенций (результатов обучения) при промежуточной аттестации

Пример:

Для оценивания результатов обучения на экзамене используется 4-балльная шкала: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Для оценивания результатов обучения на зачете используется – зачтено, не зачтено

Соотношение показателей, критериев и шкалы оценивания результатов обучения.

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала 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 решения практических задач	Повышенный уровень	Отлично
Обучающийся владеет понятийным аппаратом данной области науки (теоретическими основами дисциплины), способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований, допускает ошибки при практическом применении теоретических знаний для решения практических задач	Базовый уровень	Хорошо
Обучающийся владеет частично теоретическими основами дисциплины, фрагментарно способен иллюстрировать ответ, примерами, фактами, данными научных исследований, не умеет применять знания для решения практических задач.	Пороговый уровень	Удовлетворительно
Обучающийся демонстрирует отрывочные, фрагментарные теоретические знания, допускает грубые ошибки при иллюстрировании ответа примерами, фактами, данными научных исследований, не умеет применять знания для решения практических задач	—	Неудовлетворительно

19.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующие этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы

19.3.1 Перечень вопросов к экзамену

1. Металлические нанокластеры. Магические числа. Теоретическое моделирование наночастиц. Геометрические структуры. Компьютерное предсказание решеток кластеров.

2. Электронные структуры металлических нанокластеров. Химическая активность. Флуктуации. Магнитные кластеры. Переход от объемных к наносвойствам.
3. Полупроводящие наночастицы. Оптические свойства. Фотофрагментация. Кулоновский взрыв.
4. Кластеры благородных газов и молекул. Кластеры инертных газов. Сверхтекучие кластеры. Молекулярные кластеры.
5. Методы синтеза нанокластеров: ВЧ плазма, химические методы, термолиз, метод импульсного лазера.
6. Объемные наноструктурированные материалы. Разупорядоченные твердотельные структуры. Методы синтеза: компактирование, спинингование, газовая атомизация, гальваническое осаждение.
7. Механизмы разрушения традиционных поликристаллических материалов. Механические свойства наноматериалов. Наноструктурированные многослойные материалы.
8. Объемные наноструктурированные материалы. Электрические свойства.
9. Металлические нанокластеры в оптических стеклах. Пористый кремний. Наноструктурированные кристаллы.
10. Природные нанокристаллы. Теоретическое предсказание существования кристаллических решеток из нанокластеров. Упорядоченные структуры наночастиц в цеолитах.
11. Кристаллы из металлических наночастиц. Упорядоченные решетки наночастиц в коллоидных суспензиях.
12. Молекулы углерода. Природа углеродной связи. Новые углеродные структуры. Углеродные кластеры. Малые углеродные кластеры.
13. Открытие фуллерена C_{60} . Структура C_{60} и ее кристалл. C_{60} , легированный щелочными металлами. Сверхпроводимость в C_{60} . Большие и малые фуллерены. Другие структуры.
14. Углеродные нанотрубки. Методы получения. Структура. Кресельные, зигзаговые, хиральные трубки. Электрические свойства.
15. Углеродные нанотрубки. Колебательные свойства. Механические свойства.
16. Применения углеродных нанотрубок. Полевая эмиссия и экранирование. Компьютеры. Топливные элементы. Химические сенсоры. Катализ. Механическое упрочнение.

19.4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

Оценка знаний, умений и навыков, характеризующая этапы формирования компетенций в рамках изучения дисциплины осуществляется в ходе текущей и промежуточной аттестаций.

Текущая аттестация проводится в соответствии с Положением о текущей аттестации обучающихся по программам высшего образования Воронежского государственного университета. Текущая аттестация проводится в формах: устного опроса; отчета о лабораторных работах. Критерии оценивания приведены выше.

Промежуточная аттестация проводится в соответствии с Положением о промежуточной аттестации обучающихся по программам высшего образования.

Контрольно-измерительные материалы промежуточной аттестации включают в себя теоретические вопросы, позволяющие оценить уровень полученных знаний и/или практическое(ие) задание(я), позволяющее(ие) оценить степень сформированности умений и(или) навыков, и(или) опыт деятельности (*указывает реальную структуру*).

При оценивании используются количественные или качественные шкалы оценок (*нужное выбрать*). Критерии оценивания приведены выше.

