

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

**УТВЕРЖДАЮ**

Заведующий кафедрой  
оптики и спектроскопии



\_\_\_\_\_ (Овчинников О.В.)

05.06.2025 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Б1.В.ДВ.05.01 Наноматериалы и нанотехнологии

1. Код и наименование направления подготовки: 12.03.03. Фотоника и оптоинформатика
2. Профиль подготовки: Фотоника и оптоинформатика
3. Квалификация выпускника: бакалавр
4. Форма обучения: очная
5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины: кафедра оптики и спектроскопии
6. Составители программы: Кондратенко Тамара Сергеевна, кандидат физико-математических наук, доцент, Королев Никита Викторович, кандидат физико-математических наук, доцент
7. Рекомендована: НМС физического ф-та ВГУ протокол № 6 от 04.06.2025 г.
8. Учебный год: 2027/2028 Семестр(ы): 8

## 9. Цели и задачи учебной дисциплины:

*Целями освоения учебной дисциплины являются:* формирование у студентов профессиональной компетенции в области создания квантово-размерных систем и наноструктур, свойства которых широко применяются в оптоэлектронике и других областях наукоемких технологий.

*Задачи учебной дисциплины:*

- изучить основные типы наноразмерных оптически активных систем, наноматериалов, используемых для фотовольтаики, светодиодной техники, люминесцентной и химической сенсорики;
- освоить основные подходы к рассмотрению оптических явлений и эффектов, обусловленных квантово-размерными свойствами наноструктур;
- изучить основные направления развития оптических нанотехнологий;
- овладеть навыками выявления отличительных признаков наномасштабных явлений и процессов при их отнесении к оптическим нанотехнологиям.

**10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:** является дисциплиной по выбору вариативной части цикла Б1

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

Код	Название компетенции	Код(ы)	Индикатор(ы)	Планируемые результаты обучения
ПК-1	Способен оценивать условия и режимы эксплуатации разрабатываемой опtotехники, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов	ПК-1.1	Определяет требования к параметрам разрабатываемой опtotехники	<b>Знать:</b> условия и режимы эксплуатации, конструктивных особенностей разрабатываемой опtotехники, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов. <b>Уметь:</b> согласовывать условия и режимы эксплуатации, конструктивных особенностей разрабатываемой опtotехники, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов. <b>Владеть:</b> навыками определения условий и режимов эксплуатации, конструктивных особенностей разрабатываемой опtotехники, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов
		ПК-1.2	Осуществляет поиск и анализ научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта об изделиях аналогах разрабатываемой	<b>Знать:</b> требования к параметрам разрабатываемой опtotехники. <b>Уметь:</b> определять требования к параметрам разрабатываемой опtotехники. <b>Владеть:</b> навыками

			оптотехники, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов	определения требований к параметрам разрабатываемой оптотехники.
		ПК-1.3	Оформляет научно-технические отчеты о результатах разработки оптотехники, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов	<p><b>Знать:</b> принципы поиска научной информации об изделиях аналогах разрабатываемой оптотехники и оптико-электронных приборов и комплексов.</p> <p><b>Уметь:</b> анализировать научную информацию, отечественный и зарубежный опыт об изделиях аналогах.</p> <p><b>Владеть:</b> навыками осуществления поиска и анализа научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта об изделиях аналогах разрабатываемой оптотехники, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов.</p>
		ПК-1.4	Согласует условия и режимы эксплуатации, конструктивных особенностей разрабатываемой оптотехники, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов	<p><b>Знать:</b> результаты разработки оптотехники, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов.</p> <p><b>Уметь:</b> оформлять научно-технические отчёты о результатах разработки оптотехники, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов.</p> <p><b>Владеть:</b> навыками оформления научно-технических отчётов.</p>

ПК-6	Способен создавать базы данных о физических свойствах и технологических особенностях наноструктурных материалов	ПК-6.1	Определяет степень достоверности результатов экспериментальных исследований и составление реестра параметров наноструктурных материалов	<p><b>Знать:</b> перечень допустимых значений физических воздействий.</p> <p><b>Уметь:</b> осуществлять подготовку реестра допустимых значений физических воздействий на прошедшие испытания материалы и комплектующие для разработки технологических процессов.</p> <p><b>Владеть:</b> навыками подготовки реестров.</p>
		ПК-6.2	Осуществляет подготовку реестра допустимых значений физических воздействий на прошедшие испытания материалы и комплектующие для разработки технологических процессов	<p><b>Знать:</b> принципы определения степени результатов экспериментальных исследований.</p> <p><b>Уметь:</b> составлять реестр параметров наноструктурных материалов.</p> <p><b>Владеть:</b> навыками определения степени достоверности результатов экспериментальных исследований.</p>

**12. Объем дисциплины в зачетных единицах/часах в соответствии с учебным планом — 5 / 180**

**Форма промежуточной аттестации экзамен**

### 13 Трудоемкость по видам учебной работы

Вид учебной работы		Трудоемкость	
		Всего	По семестрам
			7
Аудиторные занятия		90	90
в том числе:	лекции	52	52
	практические	38	38
	лабораторные	-	-
Самостоятельная работа		54	54
Форма промежуточной аттестации (контроль)		Экзамен (36 часов)	
Итого:		180	180

### 13.1 Содержание разделов дисциплины

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК *
<b>1. Лекции</b>			
1.	Введение	Определение термина «нанотехнология» и понятия «наноматериалы». Наноматериалы в истории, предпосылки нанотехнологий. Терминологические подходы к понятию «наноматериалов. Основные принципы получения наноматериалов: технологии «снизу-вверх» (bottom-up) и «сверху-вниз» (top-down).	
2.	Нанокластеры и наноматериалы, их классификация	Изолированные одиночные нанокластеры. Молекулярные кластеры: стабильность и структура молекулярных кластеров. Размерные эффекты. «Магические» числа. Электронные свойства молекулярных кластеров. Гибридные молекулярные кластеры. Методы синтеза молекулярных кластеров.	
3	Основные типы наноструктур	Понятие квантовой ямы, квантовой нити, квантовой точки, сверхрешетки. Общее понятие эффекта размерного квантования	
4	Квантовая механика простейших структур	Размерное квантование в простейших моделях. Квантовая яма. Размерное квантование электронных состояний в реальных квантовых ямах (тонкая кристаллическая пленка). Электронные подзоны в квантовых ямах бесконечной глубины. Метод эффективной массы (кР-теория возмущений) Подзоны тяжелых и легких дырок.	
5	Экситоны Ванье-Мотта в объемном полупроводнике и наноструктурах	Экситоны Ванье-Мотта в объемном полупроводнике. Прямые экситоны. Экситоны в низкоразмерных структурах (двумерный случай).	
6	Поглощение света в квантовых ямах	Одномерный экситон. Микрочастица в трехмерной потенциальной яме бесконечной глубины, имеющей форму прямоугольного параллелепипеда. Цилиндрическая яма. Функции Ванье. Понятие огибающей.	
7	Размерное квантование в энергетическом спектре квантовой точки	Гамильтониан задачи о нахождении энергетического спектра полупроводниковой квантовой точки. Три случая в задаче о размерном квантовании энергетического спектра полупроводниковой квантовой точки. Фундаментальное поглощение света полупроводниковым кристаллом. Правила отбора для поглощения света полупроводниковой квантовой точкой. Основные подходы к интерпретации спектров экстинкции ансамблей квантовых точек.	
8	Люминесценция коллоидных квантовых точек	Люминесценция наночастиц. Размерный эффект в люминесценции коллоидных квантовых точек. Кинетика люминесценции квантовых точек. Роль локализованных состояний. Теория и эксперимент.	
9	Углеродные наноструктуры	Углеродные молекулы, углеродные кластеры, углеродные нанотрубки. Применения углеродных нанотрубок.	

10	Основные методы синтеза квантовых точек	Метод молекулярно-лучевой эпитаксии. Мосгидридная газофазовая эпитаксия. Методики коллоидного синтеза. Квантовые точки структуры ядро/оболочка. Синтез в мицеллах.	
<b>2. Практические работы</b>			
11	Квантовые ямы	Расчет волновых функций и уровней энергии в прямоугольной квантовой яме с бесконечно высокими стенками. Расчет вида потенциала, волновых функций и положения энергетических уровней в симметричной прямоугольной квантовой яме со стенками конечной высоты.	
12	Спектр оптического поглощения наноструктур и его интерпретация	Обработка спектра поглощения ансамблей квантовых точек. Определение геометрических параметров квантовых точек и плазмонных наночастиц.	

### 13.2. Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Виды занятий (часов)					
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	Контроль	Всего
1.	Введение	2	-	-	2	2	6
2.	Нанокластеры и наноматериалы, их классификация	6	-	-	2	2	10
3.	Основные типы наноструктур	2	-	-	2	2	6
4.	Квантовая механика простейших структур	6	-	-	4	2	12
5.	Экситоны Ванье-Мотта в объемном полупроводнике и наноструктурах	6	-	-	4	2	12
6.	Поглощение света в квантовых ямах	8	-	-	4	2	14
7.	Размерное квантование в энергетическом спектре квантовой точки	8	-	-	4	2	14
8.	Люминесценция коллоидных квантовых точек	6	-	-	4	2	12
9.	Углеродные наноструктуры	4	-	-	2	2	8
10.	Основные методы синтеза квантовых точек	4	-	-	2	2	8
11.	Квантовые ямы	-	20	-	12	8	40
12.	Спектр оптического поглощения наноструктур и его интерпретация	-	18	-	12	8	38
	<i>Итого</i>	52	38	32	54	36	180

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

Основными этапами освоения дисциплины являются:

- 1) Лекции. В ходе лекционных занятий студенту необходимо вести конспектирование учебного материала. Обращать внимание на категории, формулировки, раскрывающие содержание тех или иных явлений и процессов, научные выводы и практические рекомендации, положительный опыт в ораторском искусстве. Желательно оставить в рабочих конспектах поля, на которых делать пометки из рекомендованной литературы, дополняющие материал прослушанной лекции, а также подчеркивающие особую важность

тех или иных теоретических положений. Задавать преподавателю уточняющие вопросы с целью уяснения теоретических положений, разрешения спорных ситуаций

- 2) Практические занятия. При подготовке к практическим занятиям студентам рекомендуется: внимательно прочесть конспект лекции по теме, изучить рекомендованную литературу; изучить методическую литературу по теме практического занятия, разобрать примеры решения практических задач; проверить свои знания, отвечая на вопросы для самопроверки; если встретятся незнакомые термины, обязательно обратиться к словарю и зафиксировать их в тетради; при затруднениях сформулировать вопросы к преподавателю
- 3) Самостоятельная работа студента. Изучение учебной, научной и методической литературы, материалов периодических изданий с привлечением электронных средств научной информации.
- 4) Подготовка к аттестации. В ходе подготовки к текущим аттестациям и промежуточной аттестации студенту рекомендуется активно использовать электронный образовательный портал Moodle – электронная среда дисциплины, с предоставлением презентаций лекций, заданий для выполнения практических работ, дополнительного теоретического материала и нормативно-правовых документов по темам и перечней вопросов для подготовки к текущим аттестациям и промежуточной аттестации. Также студенту рекомендуется использовать весь набор методов и средств современных информационных технологий для изучения отечественной и зарубежной литературы по дисциплине, оценки и анализа ее текущего состояния и перспектив развития. Ему предоставляется возможность работать в компьютерных классах факультета (313а аудитория), иметь доступ к Интернет-ресурсам и электронной почте, использовать имеющиеся на кафедре оптики и спектроскопии физического факультета информационные технологии, использовать ресурсы Зональной научной библиотеки ВГУ, в том числе электронно-библиотечные системы.

## 15. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	Тимофеев, В. Б. Оптическая спектроскопия объемных полупроводников и наноструктур : учебное пособие / В. Б. Тимофеев. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 512 с. — ISBN 978-5-8114-1745-2. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/209666">https://e.lanbook.com/book/209666</a>
2	Илюшин, В. А. Наноматериалы : учебное пособие : [16+] / В. А. Илюшин ; Новосибирский государственный технический университет. — Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2019. — 114 с. : ил., табл. — Режим доступа: по подписке. — URL: <a href="https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=574749">https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=574749</a>

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
3.	Климов, В. В. Наноплазмоника / В. В. Климов. — Москва : Физматлит, 2010. — 479 с. — Режим доступа: по подписке. — URL: <a href="https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=69490">https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=69490</a> (дата обращения: 02.11.2021). — ISBN 978-5-9221-1205-5. — Текст : электронный.
4.	Навоотный Л. Основы нанооптики / Л. Навоотный. — М. : Физматлит, 2009. — 482 с.
5.	Климов В.В. Наноплазмоника / В.В. Климов. — М. : Физматлит, 2009. — 480 с.
6.	Демиховский В.Я. Физика квантовых низкоразмерных структур / В.Я. Демиховский, Г.А. Вугальтер. — М. : Логос, 2000. — 250 с.
7.	Ландау Л.Д. Квантовая механика / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. — М. : Физматлит, 2001. — 803 с.
8.	Физика низкоразмерных систем / А.Я. Шик, Л.Г. Бакуева, С.Ф. Мусихин, С.А. Рыков. — СПб. : Наука, 2001. — с.
9.	Борен К. Поглощение и рассеяние света малыми частицами / К. Борен, Д. Хафмен ; Пер. с англ.

	<i>З.И. Фейзулина и др.; с предисл. В. И. Татарского. - М. : Мир, 1986. - 660 с.</i>
10.	<i>Андо Т. Электронные свойства двумерных систем / Т. Андо, А. Фаулер, Ф. Стерн. - М. : Мир, 1985. - 416 с.</i>
11.	<i>Пул Ч. Нанотехнологии / Ч. Пул, Ф. Оуэнс. - М. : Техносфера, 2004. - 328 с.</i>
12.	<i>Неверов В.Н. Физика низкоразмерных систем: Учебное пособие. / В.Н. Неверов, А.Н. Тимов. - Екатеринбург : Уральский гос. ун-т, 2008. - 232 с.</i>

в) информационные электронно-образовательные ресурсы:

№ п/п	Источник
13	Электронно-библиотечная система BOOK.ru <a href="https://www.book.ru/">https://www.book.ru/</a>
14	ЭБС «ПЛАТФОРМА ЮРАЙТ» – <a href="https://urait.ru/">https://urait.ru/</a>
15	ЭБС Лань – <a href="https://e.lanbook.com/">https://e.lanbook.com/</a>
16	ЭБС «Электронная библиотека технического ВУЗа» («ЭБС «Консультант студента») – <a href="http://www.studentlibrary.ru/">http://www.studentlibrary.ru/</a>
17	ЭБС «Университетская библиотека Online» – <a href="https://biblioclub.ru/">https://biblioclub.ru/</a>
18	Национальный цифровой ресурс "РУКОНТ" – <a href="http://rucont.ru">http://rucont.ru</a>

**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	Овчинников О.В., Смирнов М.С. Основы фотоники полупроводниковых коллоидных квантовых точек: учебное пособие / О.В. Овчинников, М.С. Смирнов; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Воронежский государственный университет, кафедра оптики и спектроскопии. – Воронеж: Издательский дом ВГУ, 2023. 133 с.
2	Амосова, Л. П. Введение в физику оптоэлектронных и фотонных устройств для информационных систем: учебное пособие: / Л. П. Амосова // Университет ИТМО. – Санкт-Петербург: Университет ИТМО, 2019. – 127 с. : ил., схем. – Режим доступа: по подписке. – URL: <a href="https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=566765">https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=566765</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: лекционные и практические занятия. Преобладающими методами и приемам обучения являются: 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; 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.).

Организационная структура лекционного занятия:

1. Формулировка темы, целей занятия, постановка проблемного вопроса.
2. Разъяснение вопросов теоретического и практического плана для решения поставленной проблемы.
3. Рассмотрение путей решения проблемного вопроса на конкретных примерах.
4. Заключение, формулировка выводов.
5. Формулировка задания для самостоятельной домашней работы. Озвучивание темы следующего занятия.



Организационная структура практического занятия:

1. Формулировка темы и теоретическое изучение материала практической работы.
2. Основная часть занятия, где студенты выполняют практическую работу, а контроль их исполнения (полнота и качество) и помощь осуществляет преподаватель.
3. Заключительная часть - подведение преподавателем итогов занятия, получение студентами заданий на самостоятельную работу.

Текущий контроль проводится путем проверки выполнения домашнего задания, входного контроля (в виде самостоятельных работ, докладов и рефератов).

При реализации дисциплины с использованием дистанционных образовательных технологий используются инструменты электронной информационно-образовательной среды ВГУ «Электронный университет ВГУ» (<https://edu.vsu.ru>) и/или «MOOC ВГУ» (<https://mooc.vsu.ru>), сервисы видеоконференций (BigBlueButton, Zoom, Discord и др.), электронная почта, мессенджеры и соцсети.

1	Поисковая система e-library.ru
2	Поисковая система google.ru
3	Архив научных журналов <a href="http://arch.neicon.ru/">http://arch.neicon.ru/</a>
4	Единое окно доступа к образовательным ресурсам. Библиотека <a href="http://window.edu.ru/">http://window.edu.ru/</a>
5	Электронный каталог ЗНБ ВГУ <a href="https://www.lib.vsu.ru/">https://www.lib.vsu.ru/</a>
6	Электронная библиотека Попечительского совета механико-математического факультета МГУ <a href="http://lib.mexmat.ru">lib.mexmat.ru</a>

## 18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Учебная аудитория (ауд. 129): специализированная мебель, проектор, ноутбук, экран. WinPro 8, OfficeStandard 2019, «Антиплагиат.ВУЗ», MathWorks TotalAcademicHeadcount 394018, г.Воронеж, площадь Университетская, д.1, пом.І, этаж – 1, пом. 141

Лаборатория люминесцентной спектроскопии (ауд. 132): специализированная мебель, спектрофлуориметр на базе монохроматоров МДР-41, МДР-4 и ФЭУР955Р, работающего в режиме счета фотонов; волоконно-оптический спектральный комплекс OceanOpticsна базе спектрометра USB-2000+XR1 с источником излучения USB-DT, и набором зондов для измерения диффузного ISP-80-8-R и зеркального отражения RSS-VA и люминесценции R400-7-SR, пропускания и люминесценции жидких и твёрдых образцов CUV-VAR и CUV-ALL-UV; установка для производства воды аналитического качестваУПВА-5; вакуумные двухступенчатые насос VE-2100N (Value); вакуумный насос VE-215 (Value); весы OHAUS PX224/E аналитические; спектрометр волоконно-оптический VISION2GO NIR спектрометр 950-1630 нм (Р-Аэро). блоки питания лабораторные HY3005 (Mastech), блоки питания лабораторные HY3020 (Mastech), лазерный модуль/блок пит., поворотн. креплен.; лазерный модуль LM-650180 (блок пит., креп. поворотн.); вытяжной шкаф; центрифуги лабораторные; рН-метр 150МИ; оптический стол; Набор цветных стекол; Лабораторный стенд: «Люминесценция»; Лазер ЛГИ-21; Осциллограф цифровой Rigol; Осциллограф АКИП-4122/12; Ультразвуковая ванна ПСБ-1322-05; Ультразвуковая ванна ПСБ-1360-05. WinPro 8, OfficeStandard 2019, «Антиплагиат.ВУЗ», MathWorks TotalAcademicHeadcount, ANSYSHF AcademicResearch, Пакет ПО для управления спектрофотометром USB 2000+ (OceanOptics), для анализа и обработки данных, Пакет ПО для управления спектрометрическим комплексом на базе монохроматора МДР-41 (ОКБ Спектр) 394018, г.Воронеж, площадь Университетская, д.1, пом.І, этаж – 1, пом. 28

Учебная аудитория (ауд. 133): специализированная мебель, компьютер, мультимедиа-проектор, экран. WinPro 8, OfficeStandard 2019, «Антиплагиат.ВУЗ» 394018, г.Воронеж, площадь Университетская, д.1, пом.І, этаж – 1, пом. 136

## 19. Оценочные средства для проведения текущего контроля успеваемости 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.	Введение	ПК-1 ПК-6	ПК-1.1 ПК-1.2 ПК-1.3 ПК-1.4 ПК-6.1 ПК-6.2	Домашние (самостоятельные) задания для контроля освоения дисциплины
2.	Нанокластеры и наноматериалы, их классификация			Домашние (самостоятельные) задания для контроля освоения дисциплины
3.	Основные типы наноструктур			Домашние (самостоятельные) задания для контроля освоения дисциплины
4.	Квантовая механика простейших структур			Домашние (самостоятельные) задания для контроля освоения дисциплины
5.	Экситоны Ванье-Мотта в объемном полупроводнике и наноструктурах			Домашние (самостоятельные) задания для контроля освоения дисциплины
6.	Поглощение света в квантовых ямах			Домашние (самостоятельные) задания для контроля освоения дисциплины
7.	Размерное квантование в энергетическом спектре квантовой точки			Домашние (самостоятельные) задания для контроля освоения дисциплины
8.	Люминесценция коллоидных квантовых точек			Домашние (самостоятельные) задания для контроля освоения дисциплины
9.	Углеродные наноструктуры			Домашние (самостоятельные) задания для контроля освоения дисциплины
10.	Основные методы синтеза квантовых точек			Домашние (самостоятельные) задания для контроля освоения дисциплины
11.	Квантовые ямы	ПК-1 ПК-6	ПК-1.1 ПК-1.2 ПК-1.3 ПК-1.4 ПК-6.1 ПК-6.2	Самостоятельные задания для контроля освоения дисциплины Отчет по практической работе
12.	Спектр оптического поглощения наноструктур и его интерпретация			Самостоятельные задания для контроля освоения дисциплины Отчет по практической работе
Промежуточная аттестация форма контроля – экзамен				Комплект КИМ (Тест + список вопросов, требующих развернутого ответа)

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

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 форме: устного опроса (индивидуальный опрос). Критерии оценивания приведены ниже. Промежуточная аттестация проводится в соответствии с Положением о промежуточной аттестации обучающихся по программам высшего образования. Контрольно-измерительные материалы промежуточной аттестации включают в себя тесты и теоретические вопросы, позволяющие оценить уровень полученных знаний, а также практическое задание, позволяющее оценить степень сформированности умений и навыков. При оценивании используются качественные шкалы оценок. Критерии оценивания приведены в п. 20.2.

Для оценивания результатов обучения на зачете учитываются следующие показатели:

- 1) знание учебного материала, владение понятийным аппаратом и теоретическими основами волновых явлений;
- 2) умение связывать теорию с практикой;
- 3) умение иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными современных научных исследований в оптике;
- 4) умение применять основные законы и анализировать результаты наблюдений и экспериментов
- 5) владение понятийным аппаратом и умение применять теоретические знания для решения практических задач .

## **20.1. Текущий контроль успеваемости**

Контроль успеваемости по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

1. Посещаемость лекционных занятий. Проверка преподавателем конспектов по пройденному материалу. Домашние (самостоятельные) задания для контроля освоения дисциплины.

2. Выполнение практических работ (выполнение и оформление практической работы). Контрольная работа (практические задания, устный опрос по контрольным вопросам к практической работе).

Домашние (самостоятельные) задания формулируются преподавателем по окончании занятия для закрепления обучающимся пройденного материала (содержит перечень задач для выполнения / вопросов) или подготовке к последующим занятиям. На дальнейшем соответствующем занятии преподаватель осуществляет полную/выборочную проверку выполнения обучающимися домашних (самостоятельных) заданий. Полная проверка проводится в форме тестирования с ограничением по времени. Выборочная проверка осуществляется по средствам устного опроса выборочного количества студентов. В случае невыполнения обучающимся домашнего (самостоятельного) задания преподаватель не оценивает работу обучающегося на текущем занятии выше 2 баллов (положительная оценка (3/4/5) может быть выставлена по результатам выполнения индивидуального задания). Типовые задания теста и вопросы для проведения опроса представлены в Приложении 1 к рабочей программе дисциплины.

Контрольная работа включает в себя выполнение и представление практического задания. Ее выполнение оценивается в два этапа:

- 1) выполнение и оформление практической работы;
- 2) обсуждение практических заданий и полученных результатов, устный опрос по контрольным вопросам к практической работе.

Критерии оценивания контрольной работы (практических заданий):

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
<i>Все пункты практической работы выполнены верно, оформлены в соответствии с требованиями, указанными преподавателем, сделаны выводы. Обучающийся в полной мере владеет понятийным аппаратом и теоретическими основами дисциплины, способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований, применять теоретические знания для решения практических задач в области современной физики.</i>	<i>Повышенный уровень</i>	<i>Отлично</i>
<i>Все пункты практической работы выполнены верно, оформлены с незначительными нарушениями требований, указанных преподавателем, сделаны выводы. Недостаточно продемонстрировано теоретических основ дисциплины.</i>	<i>Базовый уровень</i>	<i>Хорошо</i>
<i>Пункты практической работы выполнены частично верно, оформлены с нарушением требований, указанных преподавателем, сделаны выводы. Имеет не полное представление о теоретических основах, допускает существенные ошибки.</i>	<i>Пороговый уровень</i>	<i>Удовлетворительно</i>
<i>Пункты практической работы не выполнены или выполнены неверно, оформлены с нарушением требований, указанных преподавателем, выводы не сделаны или не полные по содержанию. Обучающийся демонстрирует отрывочные, фрагментарные знания, допускает грубые ошибки.</i>	<i>–</i>	<i>Неудовлетворительно</i>

## 20.2. Промежуточная аттестация

Для оценивания результатов обучения на зачёте используются следующие показатели:

1. знание учебного материала, владение понятийным аппаратом и теоретическими основами дисциплины;
2. умение связывать теорию с практикой;
3. умение описывать основные характеристики, методики контроля и параметры фотоприёмников;
4. владение знаниями о технологическом процессе проектирования устройств фотоники, включая основные термины и определения жизненного цикла изделия, представления о разработке технологического маршрута и операционной карты;
5. умение читать чертежи и анализировать технические условия, составлять маршрутные и операционные карты технологического процесса конструирования изделия фотоники, используя соответствующую конструкторскую документацию и навыки работы с ГОСТами.

Промежуточная аттестация по дисциплине проходит в 2 последовательных этапа:

- 1) тест и расчетные практические задачи;
- 2) устный опрос, с применением контрольно-измерительных материалов в форме билетов, содержащих по два вопроса к зачету из следующего перечня:
  1. Определение терминов «нанотехнологии» и «наноматериал»
  2. Предпосылки нанотехнологии.
  3. Наночастицы и нанокристаллы: основные отличия.
  4. Нанотехнологии типа «снизу-вверх» (bottom-up)
  5. Нанотехнологии типа «сверху-вниз» (top-down)
  6. Свойства наноматериалов (структурные, электронные, магнитные, каталитические и др.)

7. Применения наноматериалов.
8. Международная классификация наноматериалов.
9. Наносистемы и наноустройства.
10. Определение термина «нанокластер». Классификация нанокластеров (по способу получения), предложенная Суздалевым И.П.
11. Размерные эффекты. «Магические» числа
12. Электронные свойства молекулярных кластеров
13. Гибридные молекулярные кластеры
14. Методы синтеза молекулярных кластеров
15. Основные типы наноструктур. Понятие квантовой ямы, квантовой нити, квантовой точки, сверхрешетки.
16. Общее понятие эффекта размерного квантования.
17. Электроны в кристаллической решетке. Вид функции электрона в кристалле.
18. Метод эффективных масс. Огибающая функция.
19. Метод разделения переменных. Задача Штурма-Лиувилля. Собственные значения и собственные функции.
20. Уравнение Шредингера. Задача о прямоугольной потенциальной яме.
21. Задача об электроны в сферической потенциальной яме.
22. Задача об экситоне. Переход от объемного кристалла к квантовой точке.
23. Сильный конфаймент. Экситонный режим. Формулы Брюса и Кайанумы.
24. Правила отбора для межзонных переходов.
25. Основные методы синтеза квантовых точек. Метод молекулярно-лучевой эпитаксии. Моксидная газопазовая эпитаксия. Методики коллоидного синтеза. Квантовые точки структуры ядро/оболочка. Синтез в мицеллах.
26. Спектр оптического поглощения КТ и его интерпретация. Обработка спектра поглощения.
27. Люминесценция квантовых точек. Экситонная, рекомбинационная люминесценция.

Верно выполнив тест, обучающийся получает КИМ, готовит ответы на вопросы КИМа и отвечает преподавателю.

Требования к выполнению заданий, шкалы и критерии оценивания

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
<i>Посещение лекционных и практических занятий. Ответ на вопрос контрольно-измерительного материала во время экзамена. Ответы на дополнительные вопросы. Обучающийся в полной мере владеет понятийным аппаратом и теоретическими основами дисциплины, способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований, применять теоретические знания для решения практических задач в области современной физики.</i>	<i>Повышенный уровень</i>	<i>Отлично</i>
<i>Ответ на контрольно-измерительный материал не соответствует одному из перечисленных показателей, но обучающийся дает правильные ответы на дополнительные вопросы. Недостаточно продемонстрировано теоретических основ дисциплины.</i>	<i>Базовый уровень</i>	<i>Хорошо</i>
<i>Ответ на контрольно-измерительный материал не соответствует двум из перечисленных показателей, обучающийся дает неполные ответы на дополнительные вопросы. Имеет не полное представление о теоретических основах, допускает существенные ошибки.</i>	<i>Пороговый уровень</i>	<i>Удовлетворительно</i>
<i>Ответ на контрольно-измерительный материал не соответствует выше перечисленным показателям. Обучающийся демонстрирует отрывочные, фрагментарные знания, допускает грубые ошибки.</i>	<i>–</i>	<i>Неудовлетворительно</i>

## Приложение 1

### Типовые тестовые задания

Вопрос 1. Квантовые точки, квантовые проволоки, двумерный электронный газ — что объединяет эти объекты

- А. Это составные части интегральной схемы;
- Б. Это двумерные материалы;
- В. Все это — твердотельные наноструктуры;
- Г. Все это — прямозонные материалы?

Вопрос 2. В фотонике часто используют понятие «метаматериалы». Что за ним скрывается

- А. Это наноструктурированные среды с отрицательным показателем преломления;
- Б. Полимерные композиционные материалы из переплетенных нитей углеродного волокна, расположенных в матрице из полимерных смол;
- В. Это композиционные материалы, свойства которых обусловлены искусственно созданной периодической структурой, а в меньшей степени — свойствами составляющих материалов;
- Г. Это материалы, полученные за счет взаимодействия химически различных составляющих, формирующих определенную структуру, отличающуюся от структур исходных реагентов, но часто наследующую их определенные мотивы и функции?

Вопрос 3. В электронике и оптоэлектронике активно используются двумерные материалы. В чем их основные преимущества

- А. При работе с ними используются разработки кремниевых технологий и инженерия прямозонных материалов
- Б. Все перечисленные факторы
- В. Их производство довольно дешево, так как в двумерных материалах используются распространенные химические элементы
- Г. У двумерных материалов хороший электростатический контроль

Вопрос 4. Что не характерно для стационарных состояний квантовой системы

- А. Их волновая функция зависит от времени по гармоническому закону;
- Б. Средние значения плотности вероятности не зависят от времени;
- В. Энергетический спектр не зависит от финитного или инфинитного характера движения;
- Г. Среди возможных состояний квантовой системы существует основное состояние?

Вопрос 5. Эквидистантный энергетический спектр характерен для задачи

- А. Атома водорода;
- Б. Гармонического осциллятора;
- В. Прямоугольной потенциальной ямы;
- Г. Сферической прямоугольной потенциальной ямы?

Вопрос 6. Размерность волновой функции определяется:

- А. Собственными функциями спектральной задачи;
- Б. Собственными значениями спектральной задачи;

- В. Нормировочной постоянной;  
Г. Собственными значениями и собственными функциями спектральной задачи?

### Примеры расчетных задач

1. Оценить по формуле Кайанумы эффективную ширину запрещенной зоны в квантовых точках CdTe с учетом параметров  $m_e = 0.12m_0$ ,  $m_h = 0.4m_0$ ,  $\epsilon = 10.2$  и  $E_g = 1.6$  эВ, если средний размер по ансамблю составляет 4.2 нм.
2. Оценить по формуле Кайанумы эффективную ширину запрещенной зоны в квантовых точках ZnTe с учетом параметров  $m_e = 0.11m_0$ ,  $m_h = 0.65m_0$  и  $E_g = 2.25$  эВ, если средний размер по ансамблю составляет 5 нм.
3. Оценить по формуле Кайанумы эффективную ширину запрещенной зоны в квантовых точках CdSe с учетом параметров  $m_e = 0.11m_0$ ,  $m_h = 0.45m_0$ ,  $\epsilon = 5.96$  и  $E_g = 1.74$  эВ, если средний размер по ансамблю составляет 5.5 нм.
4. Оценить по формуле Кайанумы эффективную ширину запрещенной зоны в квантовых точках ZnSe с учетом параметров  $m_e = 0.15m_0$ ,  $m_h = 0.61m_0$ ,  $\epsilon = 5.9$  и  $E_g = 2.82$  эВ, если средний размер по ансамблю составляет 3.4 нм.
5. Оценить по формуле Кайанумы эффективную ширину запрещенной зоны в квантовых точках ZnS с учетом параметров  $m_e = 0.35m_0$ ,  $m_h = 0.62m_0$ ,  $\epsilon = 5.13$  и  $E_g = 2.90$  эВ, если средний размер по ансамблю составляет 3.3 нм.
6. Оценить по формуле Кайанумы эффективную ширину запрещенной зоны в квантовых точках CdS с учетом параметров  $m_e = 0.195m_0$ ,  $m_h = 0.8m_0$ ,  $\epsilon = 7.20$  и  $E_g = 2.36$  эВ, если средний размер по ансамблю составляет 4.0 нм.
7. Оценить по формуле Брюса средний размер квантовых точек ZnS в ансамбле, если эффективная ширина запрещенной зоны 3.16 эВ. ( $m_e = 0.35m_0$ ,  $m_h = 0.62m_0$ ,  $\epsilon = 5.13$ ).
8. Оценить по формуле Брюса средний размер квантовых точек CdS в ансамбле, если эффективная ширина запрещенной зоны 2.77 эВ. ( $m_e = 0.205m_0$ ,  $m_h = 0.8m_0$ ,  $\epsilon = 7.20$ ).
9. Оценить по формуле Брюса средний размер квантовых точек ZnTe в ансамбле, если эффективная ширина запрещенной зоны 2.55 эВ. ( $m_e = 0.11m_0$ ,  $m_h = 0.65m_0$ ,  $\epsilon = 7.28$ ).
10. Оценить по формуле Брюса средний размер квантовых точек CdTe в ансамбле, если эффективная ширина запрещенной зоны 2.05 эВ. ( $m_e = 0.12m_0$ ,  $m_h = 0.4m_0$ ,  $\epsilon = 7.21$ ).
11. Оценить по формуле Брюса средний размер квантовых точек CdSe в ансамбле, если эффективная ширина запрещенной зоны 2.24 эВ. ( $m_e = 0.11m_0$ ,  $m_h = 0.45m_0$ ,  $\epsilon = 5.96$ ).
12. Оценить по формуле Брюса средний размер квантовых точек ZnSe в ансамбле, если эффективная ширина запрещенной зоны 3.0 эВ. ( $m_e = 0.15m_0$ ,  $m_h = 0.61m_0$ ,  $\epsilon = 5.9$ ).