

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

**УТВЕРЖДАЮ**



Заведующий кафедрой  
оптики и спектроскопии

\_\_\_\_\_ (Овчинников О.В.)

05.06.2025 г.

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.В.ДВ.03.02 Наноматериалы для устройств нанофотоники

1. Код и наименование направления подготовки: 12.04.03 Фотоника и оптоинформатика
2. Профиль подготовки: Материалы и устройства фотоники и оптоинформатики
3. Квалификация выпускника: магистр
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
7. Рекомендована: НМС физического ф-та ВГУ протокол № 6 от 04.06.2025
8. Учебный год: 2025/2026 Семестр(ы): 2

## 9. Цели и задачи учебной дисциплины:

*Целями освоения учебной дисциплины являются:* является изучение основных классов наноматериалов и нанотехнологий, применяемых при изготовлении устройств фотоники и оптоинформатики и освоении дисциплинарных компетенций.

*Задачи учебной дисциплины:*

- проанализировать имеющиеся наноматериалы, используемые для приложений фотоники, и сформировать знания о характеристиках и технологиях получения основных функциональных материалов фотоники, а также представление об основных тенденциях и направлениях развития современных оптических технологий;
- сформировать умение пользоваться методами поисковых систем, методами исследовательской работы в области оптических наноматериалов и нанотехнологий;
- овладеть навыками работы с технологиями получения функциональных материалов для устройств фотоники и оптоинформатики.

**10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:** дисциплина Б1.В.ДВ.03.02 Наноматериалы для устройств нанопотоники относится к части, формируемой участниками образовательных отношений Блока 1, дисциплины по выбору.

## 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 анализировать научно-технические проблемы и ставить цели и задач проводимых научных исследований на основе подбора и изучения литературных и патентных источников	ПК-1.1	Составляет план поиска научно-технической информации по созданию материалов и разработке устройств фотоники и оптоинформатик и	Знать: материал всех разделов программы по данному курсу. В том числе: описание структур и свойств наноразмерных образований, к которым относятся квантовые точки, квантовые нити, нанотрубки, тонкопленочные гетероструктуры, молекулярные кластеры. Уметь: применять знания к выявлению физических механизмов, ответственных за возникновение новых свойств при переходе от «макрорешечки» к наноструктурам, построенных из тех же самых атомных и молекулярных элементов, что и вещество. Уметь проводить анализ модельных представлений, объясняющих особенности строения и свойства вещества в наносостояниях. Владеть: определенными методами получения наноструктур и оптическими методами их исследования, навыками участия в разработке новых методов и методических подходов в научно-инновационных исследованиях и инженерно-технологической деятельности
		ПК-1.1	Проводит поиск и анализ научно-технической информации для создания материалов и разработки устройств фотоники и оптоинформатик и	

## 12. Объем дисциплины в зачетных единицах/часах в соответствии с учебным планом — 3 / 108

Форма промежуточной аттестации ЭКЗАМЕН

### 13 Трудоёмкость по видам учебной работы

Вид учебной работы		Трудоёмкость	
		Всего	По семестрам
			2
Аудиторные занятия		48	48
в том числе:	лекции	32	32
	практические	-	-
	лабораторные	16	16
Самостоятельная работа		24	24
Форма промежуточной аттестации (контроль 36 часов)		экзамен	
Итого:		108	108

#### 13.1 Содержание разделов дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины
<b>1. Лекции</b>		
1.	Введение. Особенности наноструктур и наноструктурированных материалов	Общие представления о материалах нанофотоники.
2.	Нанокластеры и наноматериалы	Нанокластеры и их классификация. Классификация нанокластеров (по способу получения), предложенная Суздаевым И.П. Размерные эффекты. «Магические» числа. Методы получения различных нанокластеров и наноструктур. Классификация Третьякова наноматериалов и способы их получения.
3.	Основные типы наноструктур.	Понятие квантовой ямы, квантовой нити, квантовой точки, сверхрешетки. Общее понятие эффекта размерного квантования. Квантовая механика простейших структур. Размерное квантование в простейших моделях.
4.	Углеродные наноструктуры	Углеродные молекулы, углеродные кластеры, углеродные нанотрубки. Методы получения.
5.	Распространение электромагнитных волн в периодических средах	Сверхрешетки. Модели сверхрешеток разной размерности. Распространение электромагнитного излучения в периодических структурах.
6.	Объёмные наноструктурированные материалы для фотоники	Фотонные кристаллы. Фотонная запрещённая зона. Спектр отражения и пропускания. Дефекты в фотонных кристаллах, плотность фотонных состояний. Эффект «суперпризмы».
<b>2. Лабораторные занятия</b>		
7.	Определение параметров абсорбционных и интерференционных фильтров	Исследование спектров пропускания оптических абсорбционных и интерференционных фильтров
8.	Определение геометрических параметров квантовых точек и плазмонных наночастиц.	Исследование размерного эффекта и эффекта формы в спектрах экстинкции полупроводниковых коллоидных квантовых точек и плазмонных наночастиц

### 13.2. Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Виды занятий (часов)					Всего
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	Контроль	
1.	Введение. Особенности наноструктур и наноструктурированных материалов	2	-	-	2	4	8
2.	Нанокластеры и наноматериалы	8	-	-	4	8	20
3.	Основные типы наноструктур.	9	-	-	3	4	16
4.	Углеродные наноструктуры	4	-	-	4	4	12
5.	Распространение электромагнитных волн в периодических средах	5	-	-	3	4	12
6.	Объемные наноструктурированные материалы для фотоники	4	-	-	2	4	10
7.	Определение параметров абсорбционных и интерференционных фильтров	-	6	-	3	4	13
8.	Определение геометрических параметров квантовых точек и плазмонных наночастиц.	-	10	-	3	4	17
	Итого	32	16	-	24	-	108

### 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	<i>Основы физики гибридных наноструктур / А.В.Федоров, А.В.Баранов, А.О. Орлова, В.Г. Маслов. - Учебное пособие. - СПб: СПб НИУ ИТМО, 2014. – 122 с.</i>
4	<a href="#">Игнатов А.Н.</a> <i>Оптоэлектроника и нанофотоника : [учебное пособие для студентов, обучающихся по направлениям подготовки "Электроника и наноэлектроника" и "Телекоммуникации"] / А.Н. Игнатов .— Санкт-Петербург ; Москва ; Краснодар : Лань, 2011 . — 538 с. : ил., табл. — Библиогр.: с.526-530.</i>
5	<i>Возианова А.В. Нанофотоника. Часть 1 [Учебное пособие] / А.В. Возианова, М.К. Ходзицкий . — Санкт-Петербург : НИУ ИТМО, 2013. — 93 с. : ил., табл. — Библиогр.: с.91-93.</i>
6	<a href="#">Носов, Юрий Романович.</a> <i>Оптоэлектроника / Ю. Р. Носов .— М. : Советское радио, 1977 .— 230,[2] с.</i>
7	<i>Оптоэлектроника / О.Н. Ермаков [и др.] .— М. : Янус-К, 2010- .— (Электроника в техническом университете. Прикладная электроника / под общ. ред. И.Б.Федорова) .— ISBN 978-5-8037-0505-5.</i>
8	<a href="#">Игнатов А.Н.</a> <i>Оптоэлектронные приборы и устройства: учеб. пособие / А.Н. Игнатов .— Москва : Эко-трендз, 2006. — 272 с. : ил.,</i>
9	<a href="#">Карих Е.Д.</a> <i>Оптоэлектроника: Учеб. пособие для студ. специальностей "Радиофизика", "Физическая электроника" вузов / Е.Д. Карих .— Минск : БГУ, 2000 .— 262, [1] с. — ISBN 985-445-277-8 : 30.00.</i>
10	<a href="#">Носов, Юрий Романович.</a> <i>Оптоэлектроника / Ю. Р. Носов .— М. : Советское радио, 1977 .— 230,[2] с.</i>
11	<i>Страховский Г.М., Основы квантовой электроники / Г.М. Страховский, А.В. Успенский - М. :</i>

	<i>Высшая школа, 1973. - 312 с.</i>
12	<i>Ярив А. Квантовая электроника / А. Ярив - М. : Советское радио, 1980. - 488 с.</i>

в) информационные электронно-образовательные ресурсы:

№ п/п	Источник
13	<i>Электронный каталог ЗНБ ВГУ <a href="https://www.lib.vsu.ru/">https://www.lib.vsu.ru/</a></i>
14	<i>ЭБС "Издательства "Лань" <a href="https://e.lanbook.com">https://e.lanbook.com</a></i>
15	<i>ЭБС "Университетская библиотека online" <a href="https://biblioclub.lib.vsu.ru">https://biblioclub.lib.vsu.ru</a></i>

## **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	<i>Основы оптики и спектроскопии квантовых точек : учебно-методическое пособие для вузов : [для проведения специального физ. практикума студ. 1 к. магистратуры, обуч. по программам "Физика опт. явлений" и "Оптика наноструктурированных материалов" на каф. оптики и спектроскопии физ. фак. Воронеж. гос. ун-та для направления 010700 - Физика] / Воронеж. гос. ун-т ; [сост. : О.В. Овчинникови др.] .— Воронеж : Издательско-полиграфический центр Воронежского государственного университета, 2013 .— 80 с. : ил. — Библиогр.: с.78-80. &lt;URL:<a href="http://www.lib.vsu.ru/elib/texts/method/vsu/m13-155.pdf">http://www.lib.vsu.ru/elib/texts/method/vsu/m13-155.pdf</a>&gt;.</i>
2	<i>Начала оптики наночастиц [Электронный ресурс] : учебное пособие / [О.В. Овчинников и др.] ; Воронеж. гос. ун-т .— Электрон. текстовые дан. — Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2018 .— Загл. с титула экрана .— Свободный доступ из интрасети ВГУ .— Текстовый файл .— &lt;URL:<a href="http://www.lib.vsu.ru/elib/texts/method/vsu/m18-242.pdf">http://www.lib.vsu.ru/elib/texts/method/vsu/m18-242.pdf</a>&gt;.</i>
3	<i>Электронный курс "Материалы нанофотоники" для дистанционного обучения <a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=5632">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=5632</a></i>

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

В учебном процессе используются традиционные и дистанционные образовательные технологии. По образовательным формам: лекции 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., 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 лабораторного занятия: 1. Формулировка темы, целей занятия, постановка проблемного вопроса. 2. Ознакомление с теоретическими и практическими аспектами выполняемой работы. 3. Практическая реализация рассматриваемой задачи. 4. Заключение, формулировка выводов. 5. Формулировка задания для самостоятельной домашней работы. Озвучивание темы следующего занятия.

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), электронная почта

## 18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Специализированная мебель, проектор, ноутбук, экран. WinPro 8, OfficeStandard 2019, «Антиплагиат.ВУЗ», MathWorks TotalAcademicHeadcount

Специализированная мебель, спектрофлуориметр на базе монохроматоров МДР-41, МДР-4 и ФЭУR955P, 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 (P-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, ANSYSHFACademicResearch, 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).

## 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. Особенности наноструктур и наноструктурированных материалов	ПК-1	ПК-1.1 ПК-1.2	Домашние (самостоятельные) задания для контроля освоения дисциплины
2.	Нанокластеры и наноматериалы			Домашние (самостоятельные) задания для контроля освоения дисциплины
3.	Основные типы наноструктур.			Домашние (самостоятельные) задания для контроля освоения дисциплины
4.	Углеродные наноструктуры			Домашние (самостоятельные) задания для контроля освоения дисциплины
5.	Распространение электромагнитных волн в периодических средах			Домашние (самостоятельные) задания для контроля освоения дисциплины
6.	Объёмные наноструктурированные			Домашние (самостоятельные) задания для контроля освоения

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
	материалы для фотоники			дисциплины
7.	Определение параметров абсорбционных и интерференционных фильтров			Домашние (самостоятельные) задания для контроля освоения дисциплины Контрольная работа (лабораторная работа)
8.	Определение геометрических параметров квантовых точек и плазмонных наночастиц			Домашние (самостоятельные) задания для контроля освоения дисциплины Контрольная работа (лабораторная работа)
Промежуточная аттестация форма контроля – экзамен				Комплект КИМ (Тест + список вопросов, требующих развернутого ответа+практические задания)

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

**20.1. Текущая аттестация.** Текущая аттестация проводится по итогам выполнения лабораторных работ. Лабораторная работа выполнена, если:

- составлен конспект, в котором указаны: цель работы, оборудование, теоретические основы работы, приведено описание установки (стенда) и методики измерения; получен допуск к выполнению работы в устной беседе с преподавателем по содержанию конспекта;
- выполнена экспериментальная часть работы, обработаны результаты измерений, получен окончательный результат и сделаны выводы, оформлен отчет.
- В устной беседе с преподавателем студент «защитил» работу.

### **Критерии и шкалы оценивания:**

Критерии оценивания компетенций	Шкала оценок
<i>Все пункты лабораторной 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>Отлично</i>
<i>Все пункты лабораторной работы выполнены верно, оформлены с незначительными нарушениями требований, указанных преподавателем, сделаны выводы. Недостаточно продемонстрировано теоретических основ дисциплины.</i>	<i>Хорошо</i>
<i>Пункты лабораторной работы выполнены частично верно, оформлены с нарушением требований, указанных преподавателем, сделаны выводы. Имеет не полное представление о теоретических основах, допускает существенные ошибки.</i>	<i>Удовлетворительно</i>
<i>Пункты лабораторной 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>Неудовлетворительно</i>

## 20.2. Промежуточная аттестация

Форма проведения промежуточной аттестации по дисциплине – экзамен. Оценка за экзамен может быть выставлена по результатам текущей успеваемости обучающегося в течение семестра на заключительном занятии. Оценки вносятся в аттестационную ведомость. При несогласии студента с оценкой последний вправе сдавать экзамен на общих основаниях.

Экзамен проводится в письменной форме. Каждый КИМ включает два теоретических вопроса и задачу. Обучающийся готовит ответы на вопросы КИМа на бланках ответа и устно отвечает преподавателю. Оценивается правильность и полнота ответа на каждый вопрос, при решении задачи оценивается: знание физических основ (явлений, законов, формул), необходимых для ее решения; наличие математических преобразований; правильный ответ. Время подготовки ответа не более 45 мин, время ответа не более 15 мин.

### Пример КИМ для экзамена:

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой оптики и спектроскопии  
Овчинников О.В.  
подпись, расшифровка подписи  
\_\_.\_.20\_\_

Направление подготовки 12.04.03 Фотоника и оптоинформатика  
Дисциплина Б1.В.ДВ.03.02 Наноматериалы для устройств нанофотоники

Форма обучения очная  
Вид контроля экзамен

Вид аттестации      промежуточная

### **Контрольно-измерительный материал № 1**

1. Основные типы наноструктур. Понятие квантовой ямы, квантовой нити, квантовой точки, сверхрешетки.
2. Общее понятие эффекта размерного квантования.
3. Оценить по формуле Кайанумы эффективную ширину запрещенной зоны в квантовых точках CdTe с учетом параметров  $m_e = 0.12m_0$ ,  $m_h = 0.4m_0$ ,  $\varepsilon = 10.2$  и  $E_g = 1.6$  эВ, если средний размер по ансамблю составляет 4.2 нм.

Преподаватель \_\_\_\_\_ Кондратенко Т. С..

#### **Критерии и шкалы оценивания КИМ:**

Для оценивания выполнения заданий используется балльная шкала:

##### 1) ответ на теоретические вопросы:

- 2 балла – обучающийся в полной мере владеет понятийным аппаратом и теоретическими основами по поставленному вопросу, способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований;
- 1 балл – обучающийся частично владеет понятийным аппаратом и теоретическими основами по поставленному вопросу, не способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований;
- 0 баллов – обучающийся не владеет понятийным аппаратом и теоретическими основами по поставленному вопросу, не способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований

##### 2) расчетные задачи, ситуационные, практико-ориентированные задачи:

- 2 баллов – задача решена верно (получен правильный ответ, обоснован (аргументирован) ход решения);
- 1 балла – решение задачи содержит незначительные ошибки, но приведен правильный ход рассуждений, или получен верный ответ, но отсутствует обоснование хода ее решения, или задача решена не полностью, но получены промежуточные результаты, отражающие правильность хода решения задачи, или, в случае если задание состоит из решения нескольких подзадач, 50% которых решены верно;
- 0 баллов – задача не решена или решение неверно (ход решения ошибочен или содержит грубые ошибки, значительно влияющие на дальнейшее изучение задачи).

В зависимости от набранного балла за КИМ, выставляется оценка по четырехбалльной шкале:

- от 5 до 6 баллов - «отлично»;
- от 3 до 4 баллов - «хорошо»;
- 2 балла - «удовлетворительно»;
- от 0 до 1 баллов – «неудовлетворительно».

#### **Материалы для составления КИМ:**

#### **Вопросы к экзамену:**

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. Мосгидридная газофазовая 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.

### Расчетные задачи

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. ( $m_e = 0.15m_0$ ,  $m_h = 0.61m_0$ ,  $\epsilon = 5.9$ ).