

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.)
подпись, расшифровка подписи

21.06.2023 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.В.01 Фотоника наноструктур

1. Код и наименование направления подготовки: 12.03.03 Фотоника и оптоинформатика
2. Профиль подготовки: Перспективные материалы и устройства фотоники
3. Квалификация выпускника: магистр
4. Форма обучения: очная
5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины: кафедра оптики и спектроскопии
6. Составители программы:
Овчинников Олег Владимирович, доктор физико-математических наук, профессор
Возгорькова Екатерина Александровна, кандидат физико-математических наук
7. Рекомендована: НМС физического ф-та ВГУ протокол № 6 от 20.06.2023
8. Учебный год: 2023/2024 Семестр(ы): 1

9. Цели и задачи учебной дисциплины: _

Целью освоения учебной дисциплины являются: формирование профессиональных компетенций в области материалов и фотопроцессов в наноструктурах.

Задачи учебной дисциплины:

- сформировать комплекс знаний об энергетическом строении наноразмерных материалов, их оптических свойствах и фотопроцессах в них.
- обеспечить владение основами фотонных технологий в наноразмерных системах, а также умение различать особые оптические свойства наноструктур разнообразной природы и строения.

10. Место учебной дисциплины в структуре ООП: учебная дисциплина Б1.В.01 «Фотоника наноструктур» относится к части, формируемой участниками образовательных отношений Блока 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-3	Способен выбирать научно-исследовательское и технологическое оборудование с учетом особенностей нанотехнологических процессов создания материалов и устройств фотоники	ПК-3.1	Проводит научные исследования в области фотоники, используя специализированное исследовательское оборудование, приборы и установки	знать: основы теории наноразмерных материалов; принципы работы, возможности и назначение специализированного оборудования и приборов для создания и исследования материалов фотоники уметь: при решении конкретной задачи создания материалов и устройств фотоники генерировать идеи исходя из наличия ресурсов и ограничений владеть: методиками экспериментальной проверки выбранных технологических решений производства оптических приборов, исследования параметров наноструктурных материалов в соответствии с самостоятельно выбранной и утвержденной методикой
		ПК-3.2	Решая различные профессиональные задачи, применяет знания физических принципов работы приборов квантовой электроники и фотоники, базовых технологических процессов создания наноматериалов и устройств фотоники	

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

Форма промежуточной аттестации экзамен

13 Виды учебной работы

Вид учебной работы	Трудоемкость		
	Всего	По семестрам	
		1	
Аудиторные занятия	88	88	
в том числе:	лекции	44	44
	практические	44	44
	лабораторные	0	0
Самостоятельная работа	56	56	
Форма промежуточной аттестации (<u>экзамен</u>)	36	36	
Итого:	180	180	

13.1 Содержание разделов дисциплины

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК *
1. Лекции			
1.1	Фотоника квантовых ям	Фотоника квантовых ям. Размерное квантование в потенциальной яме бесконечной и конечной глубины. Экситон в квантовой яме. Правила отбора для оптических переходов в квантовых ямах. Лазерный эффект в квантовых ямах.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=31019
1.2	Фотоника квантовых точек	Фотоника квантовых точек. Размерное квантование энергетических состояний в квантовых точках. Правила отбора для оптических переходов в квантовых точках. Приемы обработки и интерпретации спектров поглощения. Формулы Брюса и Кайанума. Люминесценция квантовых точек. Экситонная, рекомбинационная и примесная люминесценция квантовых точек. Приемы интерпретации спектров. Природа стокова сдвига. Тонкая структура экситона, экситонная люминесценция. Локализованные состояния в нанокристаллах, динамика распада экситона, рекомбинационная люминесценция.	
1.3	Фотопроцессы в плазмонных наночастицах	Теория Ми и оптические свойства металлических наночастиц. Резонансы Ми. Моды плазмонных наночастиц. Эффективное сечение экстинкции и рассеяния света. Локализованные плазмоны. Динамика локализованных плазмонов. Элементарные фотореакции при различных стадиях экситон-плазмонного взаимодействия.	
2. Практические занятия			
2.1	Квантово-размерный эффект в оптических свойствах квантовых точек полупроводниковых соединений	Расчет энергетических состояний квантовых точек в рамках модели сильного конфаймента. Правила отбора для оптических переходов в квантовых точках.	
2.2	Оптические характеристики квантовых точек полупроводниковых соединений	Люминесценция квантовых точек. Расчет стокова сдвига и анализ природы люминесценции в квантовых точках	

13.2. Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Виды занятий (часов)				
		Лекции	Практ.	Лаб.раб.	Сам.раб.	Всего
1.1	Фотоника квантовых ям	14	0	0	10	30
1.2	Фотоника квантовых точек	16	0	0	10	32
1.3	Фотопроцессы в плазмонных наночастицах	14	0	0	6	26
2.1	Квантово-размерный эффект в оптических свойствах квантовых точек полупроводниковых соединений	0	22	0	16	47
2.2	Оптические характеристики квантовых точек полупроводниковых соединений	0	22	0	14	45
	Итого	44	44	0	56	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: изучить конспект лекции по теме и рекомендованную литературу, ознакомиться с основными методами решения задач. Для закрепления изученного материала самостоятельно решить задачи, заданные в качестве домашнего задания.
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: изучить конспекты лекции, учебную литературу, ознакомиться с основными методами решения задач, самостоятельно решить задачи, 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. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	<i>Кирчанов В.С. Физические основы нанотехнологий фотоники и оптоинформатики: учебное пособие / В. С. Кирчанов. – 2-е изд., испр. и доп. – Пермь : ПНИПУ, 2022. – 364 с. https://reader.lanbook.com/book/328871#2</i>

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
2	<i>Ельяшевич М.А. Атомная и молекулярная спектроскопия / М.А. Ельяшевич // М.: Эдиториал УРСС, 2001. – 895 с.</i>
3	<i>Бахшиев Н.Г. Введение в молекулярную спектроскопию / Н.Г. Бахшиев // Л.: Издательство ленинградского университета, 1987. – 216 с.</i>
4	<i>Турро Н. Молекулярная фотохимия / Н. Турро // М.: «МИР», 1967. – 328 с.</i>
5	<i>Киреев, П.С. Физика полупроводников / П.С. Киреев // М.: Высшая школа, 1975. – 584 с.</i>
6	<i>Шалимова К.В. Физика полупроводников / К.В. Шалимова. – СПб.: Лань, 2010.- 390 с.</i>
7	<i>Панков, Ж. Оптические процессы в полупроводниках / Ж. Панков ; пер. с англ. под ред. Ж.И. Алферова и В.С. Вавилова. — Москва. : Мир, 1973. — 456 с.</i>
8	<i>Галанин, М.Д. Люминесценция молекул и кристаллов / М.Д.Галанин ; Рос.акад.наук, Физ.ин-т им. П.Н.Лебедева, УНЦ "Фундамент. оптика и спектроскопия". — Москва.; 1999. — 199 с.</i>

в) информационные электронно-образовательные ресурсы:

№ п/п	Источник
9	ЭБС Лань – https://e.lanbook.com/
10	ЭБС «Университетская библиотека Online» – https://biblioclub.ru/

16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы

№ 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, 2024. 343 с.
2	Амосова, Л. П. Введение в физику оптоэлектронных и фотонных устройств для информационных систем : учебное пособие : [16+] / Л. П. Амосова ; Университет ИТМО. – Санкт-Петербург : Университет ИТМО, 2019. – 127 с.
3	Сидоров, А. И. Сенсорная фотоника : учебное пособие : [16+] / А. И. Сидоров ; Университет ИТМО. – Санкт-Петербург : Университет ИТМО, 2019. – 99 с. : ил., табл., схем. – Режим доступа: по подписке. – URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=566783

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 (ДОТ) 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., 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 целей занятия и ответы на вопросы студентов. 2. Ознакомление с теоретической основой работы, основными приемами и техникой безопасности при работе с используемыми приборами и реактивами. 3. Выполнение экспериментальной части работы. 4. Обработка экспериментальных результатов и предоставление их для предварительной проверки преподавателю.

Защита лабораторной работы проводится с целью выявления уровня освоения материала по тематике работы, способности дать правильную трактовку результатам, полученным при выполнении работы. Защита работы заключается в оформлении работ, устной беседе преподавателя со студентом по полученным в работе результатам и основным теоретическим понятиям по теме работы. При реализации дисциплины с использованием дистанционных образовательных технологий используются инструменты электронной информационно-образовательной среды ВГУ «Электронный университет ВГУ» (<https://edu.vsu.ru>) и/или «МООК ВГУ» (<https://mooc.vsu.ru>), сервисы видеоконференций (BigBlueButton), электронная почта.

18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Специализированная мебель, ноутбук, мультимедиа-проектор, экран. WinPro 8, OfficeStandard 2019, «Антиплагиат.ВУЗ»

19. Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестаций

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
1.1	Фотоника квантовых ям	ПК-2	ПК-2.1, ПК-2.2	Вопросы, тесты
1.2	Фотоника квантовых точек	ПК-2	ПК-2.1, ПК-2.2	Вопросы, тесты
1.3	Фотопроцессы в плазмонных наночастицах	ПК-2	ПК-2.1, ПК-2.2	Вопросы, тесты

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
2.1	Квантово-размерный эффект в оптических свойствах квантовых точек полупроводниковых соединений	ПК-2	ПК-2.1 , ПК-2.2	Тесты, Задачи
2.2	Оптические характеристики квантовых точек полупроводниковых соединений	ПК-2	ПК-2.1, ПК-2.2	Тесты, Задачи
Промежуточная аттестация форма контроля – <u>экзамен</u>				<i>КИМ</i>

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

Оценка знаний, умений и навыков, характеризующая этапы формирования компетенций в рамках изучения дисциплины осуществляется в ходе текущей и промежуточной аттестаций. Контроль успеваемости по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств: вопросы, тесты, задачи. Типовые задания теста, вопросы и задачи для проведения аттестации представлены в Приложении 1 к рабочей программе дисциплины

20.1. Текущая аттестация.

Текущие аттестации проводятся в письменном виде с помощью следующих оценочных средств: вопросы, тесты, задачи. Вариант заданий включает в себя пять тестовых заданий, теоретический вопрос и задачу. Время выполнения 45 мин.

Пример КИМ для текущей аттестации №1:

Контрольно-измерительный материал № 1

Задание 1. Укажите правильные ответы.

- Квантовую яму отличает:
 - пространственное ограничение экситона в одном из направлений роста;
 - пространственное ограничение экситона в двух направлениях роста;
 - пространственное ограничение экситона в трех направлениях роста;
 - отсутствие пространственного ограничения экситона.
- Эквидистантный энергетический спектр характерен для задачи
 - Атома водорода.
 - Гармонического осциллятора.
 - Прямоугольной потенциальной ямы.
 - Сферической прямоугольной потенциальной ямы.
- В спектре оптического поглощения квантовой ямы наблюдается:
 - широкая бесструктурная полоса;
 - дискретный оптический спектр;
 - сдвинутая в коротковолновую область полоса со структурой;
 - сдвинутая в длинноволновую область бесструктурная полоса.
- Квантовые ямы синтезируют методом:
 - вакуумного осаждения из газовой фазы;
 - методом магнетронного распыления;
 - газофазной эпитаксии;
 - молекулярно-лучевой эпитаксии.

5. Размерный эффект в спектре оптического поглощения квантовой точки проявляется по сравнению с монокристаллом:

- а) в длинноволновом сдвиге спектра;
- б) в коротковолновом сдвиге спектра;
- в) в коротковолновом сдвиге и появлении дискретной структуры;
- г) только в изменении оптической плотности по всему спектру.

Задание 2. Дайте развернутый ответ по вопросу: Правила отбора для оптических переходов в квантовых ямах

Задание 3. Решите задачу: Рассчитайте боровский радиус электрона для квантовых точек Ag_2S с учетом параметров $m_e^* = 1.05m_0$, $m_0 = 9.1 \cdot 10^{-28}$ г, $\epsilon = 5.95$, $\hbar = 1.054 \cdot 10^{-27}$ эрг·с., $e = 4.8 \cdot 10^{-10}$ СГСЕд. Ответ приведите в нм с точностью до десятых.

Пример КИМ для текущей аттестации №2:

Контрольно-измерительный материал № 1

Задание 1. Укажите правильные ответы.

1. Значение стоксова сдвига менее 0.02 эВ свидетельствует в пользу:
 - а) эффективного поглощения излучения в квантовой точке;
 - б) рекомбинационной или экситонной природы люминесценции в квантовой точке
 - в) рекомбинационной природы люминесценции в квантовой точке;
 - г) экситонной природы люминесценции в квантовой точке.
2. Собственные функции для задачи электрона в сферической потенциальной яме характеризуются:
 - а) Сферическими функциями Бесселя.
 - б) Сферическими функциями Бесселя и гармоническими функциями.
 - в) Полиномами Лагерра и гармоническими функциями.
 - г) Сферическими функциями Неймана и Ханкеля.
3. Метод теории возмущений, используемый Брюсом при выводе поправки на кулоновское взаимодействие квазичастиц в полупроводниковых наночастицах, применим в приближении:
 - а) Сильного конфайнмента.
 - б) Промежуточного конфайнмента.
 - в) Слабого конфайнмента.
 - г) Всегда применим для нульмерных наносистем.
4. Введение понятия радиального квантового числа в квантовых точках является следствием:
 - а) Альтернативного способа представления спектра квантовой точки.
 - б) Достаточного условия выполнения требования нормировки для волновых функций.
 - в) Необходимости удовлетворения граничным условиям решаемой краевой задачи.
 - г) Необходимостью классификации корней решения нелинейного уравнения на собственные значения в спектральной задаче.
5. Правила отбора для межзонных переходов в квантовых точках определяются:
 - а) Интегралом перекрытия.
 - б) Стационарным спектром квантовой системы.
 - в) Видом потенциала, обеспечивающего финитное движение.
 - г) Элементным составом вещества, из которого состоят квантовые точки.

Задание 2. Дайте развернутый ответ по вопросу: Рекомбинационная люминесценция в КТ.

Задание 3. Решите задачу: Найти энергию нижнего состояния электрона квантовых точек ZnS в рамках приближения сильного конфайнмента с учетом параметров $m_e^* = 0.35m_0$, $m_0 = 9.1 \cdot 10^{-28}$ г,

$\hbar = 1.054 \cdot 10^{-27}$ эрг·с. если средний размер по ансамблю составляет 2.6 нм. 1 эрг = $6.24 \cdot 10^{11}$ эВ. Ответ дать в эВ с точностью до сотых.

Критерии и шкалы оценивания:

Для оценивания выполнения письменных заданий используется балльная шкала:

1) тестовые задания:

- 1 балл – указан верный ответ;
- 0 баллов – указан неверный ответ, в том числе частично.

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

- 5 балла – задача решена верно (получен правильный ответ, обоснован (аргументирован) ход решения);
- 3 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).

3) ответ на теоретический вопрос:

• _____ 5 балла – обучающийся в полной мере владеет понятийным аппаратом и теоретическими основами по поставленному вопросу, способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований;

• _ 3 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

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

оценка	«5»	«4»	«3»	«2»
балл	от 12 до 15	от 8 до 11	от 5 до 8	от 0 до 4

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:

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой оптики и спектроскопии
_____ Овчинников О.В.
подпись, расшифровка подписи
___. __. 20__

Дисциплина Фотоника наноструктур
Форма обучения очная
Вид контроля экзамен
Вид аттестации промежуточная

Контрольно-измерительный материал № 1

1. Люминесценция квантовых точек.
2. Лазерный эффект в квантовых ямах.
3. Найти энергию нижнего состояния электрона квантовых точек Ag₂S в рамках приближения сильного конфайнмента с учетом параметров $m^*e = 1.05m_0$, $m_0 = 9.1 \cdot 10^{-28}$ г, $\hbar = 1.054 \cdot 10^{-27}$ эрг·с. если средний размер по ансамблю составляет 2.2 нм. 1 эрг = $6.24 \cdot 10^{11}$ эВ. Ответ дать в эВ с точностью до сотых.

Преподаватель _____ Возгорькова Е.А.

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».

ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Перечень типовых заданий для проведения текущих и промежуточных аттестаций

Примеры вопросов:

1. Фотоника квантовых ям.
2. Размерное квантование в потенциальной яме бесконечной глубины.
3. Размерное квантование в потенциальной яме конечной глубины.
4. Экситон в квантовой яме.
5. Правила отбора для оптических переходов в квантовых ямах.
6. Лазерный эффект в квантовых ямах.
7. Фотоника квантовых точек.
8. Размерное квантование энергетических состояний в квантовых точках.
9. Правила отбора для оптических переходов в квантовых точках.
10. Приемы обработки и интерпретации спектров поглощения. Формулы Брюса и Кайанума.
11. Люминесценция квантовых точек.
12. Экситонная, рекомбинационная и примесная люминесценция квантовых точек.
13. Приемы интерпретации спектров люминесценции КТ.
14. Природа стокового сдвига.
15. Тонкая структура экситона, экситонная люминесценция.
16. Локализованные состояния в нанокристаллах.
17. Динамика распада экситона в квантовых точках.
18. Рекомбинационная люминесценция в квантовых точках.
19. Пространственная локализация экситонов.
20. Возбужденные состояния экситонов.
21. Вероятности переходов и форма спектров излучателя в присутствии плазмонных наночастиц.

Примерные тестовые задания:

1. Квантовую яму отличает:
 - а) пространственное ограничение экситона в одном из направлений роста;
 - б) пространственное ограничение экситона в двух направлениях роста;
 - в) пространственное ограничение экситона в трех направлениях роста;
 - г) отсутствие пространственного ограничения экситона.
2. Эквидистантный энергетический спектр характерен для задачи
 - а) Атома водорода.
 - б) Гармонического осциллятора.
 - в) Прямоугольной потенциальной ямы.
 - г) Сферической прямоугольной потенциальной ямы.
3. В спектре оптического поглощения квантовой ямы наблюдается:
 - а) широкая бесструктурная полоса;
 - б) дискретный оптический спектр;
 - в) сдвинутая в коротковолновую область полоса со структурой;
 - г) сдвинутая в длинноволновую область бесструктурная полоса.
4. Квантовые ямы синтезируют методом:
 - а) вакуумного осаждения из газовой фазы;
 - б) методом магнетронного распыления;
 - в) газофазной эпитаксии;
 - г) молекулярно-лучевой эпитаксии.
5. Размерный эффект в спектре оптического поглощения квантовой точки проявляется по сравнению с монокристаллом:
 - а) в длинноволновом сдвиге спектра;
 - б) в коротковолновом сдвиге спектра;

- в) в коротковолновом сдвиге и появлении дискретной структуры;
- г) только в изменении оптической плотности по всему спектру.

6. Значение стокова сдвига менее 0.02 эВ свидетельствует в пользу:
- а) эффективного поглощения излучения в квантовой точке;
 - б) рекомбинационной или экситонной природы люминесценции в квантовой точке
 - в) рекомбинационной природы люминесценции в квантовой точке;
 - г) экситонной природы люминесценции в квантовой точке.
7. Собственные функции для задачи электрона в сферической потенциальной яме характеризуются:
- а) Сферическими функциями Бесселя.
 - б) Сферическими функциями Бесселя и гармоническими функциями.
 - в) Полиномами Лагерра и гармоническими функциями.
 - г) Сферическими функциями Неймана и Ханкеля.
8. Метод теории возмущений, используемый Брюсом при выводе поправки на кулоновское взаимодействие квазичастиц в полупроводниковых наночастицах, применим в приближении:
- а) Сильного конфайнмента.
 - б) Промежуточного конфайнмента.
 - в) Слабого конфайнмента.
 - г) Всегда применим для нульмерных наносистем.
9. Введение понятия радиального квантового числа в квантовых точках является следствием:
- а) Альтернативного способа представления спектра квантовой точки.
 - б) Достаточного условия выполнения требования нормировки для волновых функций.
 - в) Необходимости удовлетворения граничным условиям решаемой краевой задачи.
 - г) Необходимостью классификации корней решения нелинейного уравнения на собственные значения в спектральной задаче.
10. Правила отбора для межзонных переходов в квантовых точках определяются:
- а) Интегралом перекрытия.
 - б) Стационарным спектром квантовой системы.
 - в) Видом потенциала, обеспечивающего финитное движение.
 - г) Элементным составом вещества, из которого состоят квантовые точки.

Примеры задач для текущего и промежуточного контроля знаний:

1. Рассчитайте боровский радиус электрона для квантовых точек CdS с учетом параметров $m_e^* = 0.205m_0$, $m_0 = 9.1 \cdot 10^{-28}$ г, $\epsilon = 9.3$, $\hbar = 1.054 \cdot 10^{-27}$ эрг·с., $e = 4.8 \cdot 10^{-10}$ СГСЕд. Ответ приведите в нм с точностью до десятых.
2. Рассчитайте боровский радиус дырки для квантовых точек PbS с учетом параметров $m_h^* = 0.81m_0$, $m_0 = 9.1 \cdot 10^{-28}$ г, $\epsilon = 17.5$, $\hbar = 1.054 \cdot 10^{-27}$ эрг·с., $e = 4.8 \cdot 10^{-10}$ СГСЕд. Ответ приведите в нм с точностью до десятых.
3. Рассчитайте боровский радиус электрона для квантовых точек ZnS с учетом параметров $m_e^* = 0.35m_0$, $m_0 = 9.1 \cdot 10^{-28}$ г, $\epsilon = 5.13$, $\hbar = 1.054 \cdot 10^{-27}$ эрг·с., $e = 4.8 \cdot 10^{-10}$ СГСЕд. Ответ приведите в нм с точностью до десятых.
4. Рассчитайте боровский радиус электрона для квантовых точек Ag₂S с учетом параметров $m_e^* = 1.05m_0$, $m_0 = 9.1 \cdot 10^{-28}$ г, $\epsilon = 5.95$, $\hbar = 1.054 \cdot 10^{-27}$ эрг·с., $e = 4.8 \cdot 10^{-10}$ СГСЕд. Ответ приведите в нм с точностью до десятых.
5. Рассчитайте боровский радиус электрона для квантовых точек ZnTe с учетом параметров $m_e^* = 0.11m_0$, $m_0 = 9.1 \cdot 10^{-28}$ г, $\epsilon = 7.28$, $\hbar = 1.054 \cdot 10^{-27}$ эрг·с., $e = 4.8 \cdot 10^{-10}$ СГСЕд. Ответ приведите в нм с точностью до десятых.
6. Найти энергию нижнего состояния электрона квантовых точек ZnSe в рамках приближения сильного конфайнмента с учетом параметров $m_e^* = 0.15m_0$, $m_0 = 9.1 \cdot 10^{-28}$ г, $\hbar = 1.054 \cdot 10^{-27}$ эрг·с. если средний размер по ансамблю составляет 3.4 нм. 1 эрг = $6.24 \cdot 10^{11}$ эВ. Ответ дать в эВ с точностью до сотых.

7. Найти энергию нижнего состояния электрона квантовых точек CdS в рамках приближения сильного конфайнмента с учетом параметров $m_e^* = 0.195m_0$, $m_0 = 9.1 \cdot 10^{-28}$ г, $\hbar = 1.054 \cdot 10^{-27}$ эрг·с. если средний размер по ансамблю составляет 2.8 нм. 1 эрг = $6.24 \cdot 10^{11}$ эВ. Ответ дать в эВ с точностью до сотых.
8. Найти энергию нижнего состояния электрона квантовых точек ZnS в рамках приближения сильного конфайнмента с учетом параметров $m_e^* = 0.35m_0$, $m_0 = 9.1 \cdot 10^{-28}$ г, $\hbar = 1.054 \cdot 10^{-27}$ эрг·с. если средний размер по ансамблю составляет 2.6 нм. 1 эрг = $6.24 \cdot 10^{11}$ эВ. Ответ дать в эВ с точностью до сотых.
9. Найти энергию нижнего состояния электрона квантовых точек PbS в рамках приближения сильного конфайнмента с учетом параметров $m_e^* = 0.81m_0$, $m_0 = 9.1 \cdot 10^{-28}$ г, $\hbar = 1.054 \cdot 10^{-27}$ эрг·с. если средний размер по ансамблю составляет 3.8 нм. 1 эрг = $6.24 \cdot 10^{11}$ эВ. Ответ дать в эВ с точностью до сотых.
10. Найти энергию нижнего состояния электрона квантовых точек Ag₂S в рамках приближения сильного конфайнмента с учетом параметров $m_e^* = 1.05m_0$, $m_0 = 9.1 \cdot 10^{-28}$ г, $\hbar = 1.054 \cdot 10^{-27}$ эрг·с. если средний размер по ансамблю составляет 2.2 нм. 1 эрг = $6.24 \cdot 10^{11}$ эВ. Ответ дать в эВ с точностью до сотых.