

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.)  
14.06.2024 г.

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.О.09 Фотоника молекул, кристаллов и наноструктур

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: \_\_\_\_\_  
Овчинников Олег Владимирович  
(ФИО, ученая степень, ученое звание)  
\_\_\_\_\_ доктор физико-математических наук, профессор  
\_\_\_\_\_  
Возгорькова Екатерина Александровна  
(ФИО, ученая степень, ученое звание)  
\_\_\_\_\_ кандидат физико-математических наук
7. Рекомендована: НМС физического факультета (протокол № 6 от 13.06.2024)
8. Учебный год: 2023/2024 Семестр(ы): 1

## 9. Цели и задачи учебной дисциплины: \_

*Целью освоения учебной дисциплины являются:* познакомить студентов с процессами взаимодействия света с молекулами, твердыми телами и наноструктурами, вызывающими протекание разнообразных фотохимических реакций, окислительно-восстановительных и фотокаталитических процессов в условиях воздействия лазерного излучения, включая проблему спектральной сенсibilизации широкозонных полупроводников к видимому ближнему ИК диапазону.

*Задачи учебной дисциплины:*

- обеспечить умение применять знания, полученные при изучении базовых физических дисциплин в междисциплинарных областях;
- познакомиться с физическими основами современных фотонных технологий.

**10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:** дисциплина Б1.О.09 «Фотоника молекул, кристаллов и наноструктур» относится к обязательной части 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
ОПК-2	Способен организовывать проведение научного исследования и разработку новых оптических систем и технологий, представлять и аргументированно защищать полученные результаты	ОПК-2.1	Организует проведение научного исследования и разработку перспективных материалов и технологий создания устройств фотоники	<i>знать:</i> принципы работы, возможности и назначение специализированного оборудования и приборов для создания и исследования материалов фотоники <i>уметь:</i> при решении конкретной задачи создания материалов и устройств фотоники генерировать идеи исходя из наличия ресурсов и ограничений <i>владеть:</i> методиками экспериментальной проверки выбранных технологических решений производства оптических и акустооптических приборов, исследования параметров наноструктурных материалов в соответствии с самостоятельно выбранной и утвержденной методикой
		ОПК-2.2	Представляет и аргументировано защищает полученные результаты интеллектуальной деятельности, связанные с методами и средствами оптических и фотонных исследований	

**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	0	0
	лабораторные	44	44
Самостоятельная работа		56	56
в том числе: курсовая работа (проект)			
Форма промежуточной аттестации (экзамен – <u>36 час.</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 *
<b>1. Лекции</b>			
1.	Введение в фотонику молекул.	<p>Фотофизика молекул красителей. Электронное строение молекул, цвет и спектр поглощения. Адиабатическое приближение в молекулярной задаче. Электронно-колебательно-вращательные уровни многоатомных молекул. Принцип Паули. Строение электронных оболочек молекул: <math>n</math>, <math>\pi</math>, <math>\sigma</math> орбитали. Синглетные и триплетные состояния молекул. Правила отбора для оптических переходов в поглощении и излучении. Принцип Франка – Кондона. Законы поглощения и люминесценции молекул. Интерспиновая конверсия. Схема Яблонского.</p> <p>Фотохимические реакции с участием молекул красителей. Законы фотохимии. Основные типы фотохимических реакций в красителях. Фотораспад, фотоперегруппировка, фотоприсоединение, фотоперенос электрона, фотосенсибилизация, фотолиз.</p>	
2.	Фотоника кристаллов	<p>Электронное строение твердых тел. Уравнение Шрёдингера для кристалла. Адиабатическое и одноэлектронное приближение. Периодическое поле решётки кристалла. Оператор трансляции. Квазиимпульс. Эффективная масса электрона. Зоны Бриллюэна. Метод эффективной массы, кр теория. Плотность состояний.</p> <p>Фотофизика твердого тела. Собственное поглощение света кристаллами Экситонное поглощение. Люминесценция кристаллов.</p> <p>Фотохимия кристаллов. Фотохимические реакции в кристаллах с участием структурно-примесных дефектов. Фотолиз. Фотокаталитические реакции в твердом теле.</p>	
3	Фотоника наноструктур	<p>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.</p> <p>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 стокового сдвига. Тонкая структура экситона, экситонная люминесценция. Локализованные состояния в нанокристаллах, Динамика распада экситона, рекомбинационная люминесценция.</p>	
4	Эффекты экситон-плазмонного взаимодействия в гибридных наноструктурах	<p>Пространственная локализация экситонов. Возбужденные состояния экситонов. Вероятности переходов и форма спектров излучателя в присутствии плазмонных наночастиц. Эффект Перселла, Фано и Раби при плазмон-экситонном взаимодействии. Время жизни локализованного</p>	

		плазмона и элементарные фотореакции при различных стадиях экситон-плазмонного взаимодействия	
<b>2. Лабораторный практикум</b>			
5	Основы абсорбционной спектрофотометрии молекул красителей	Определение спектральных характеристик молекулярного спектра поглощения. Определение однокомпонентного раствора красителя с помощью закона Бугера. Определение естественного времени жизни.	
6	Спектроскопическое определение констант ассоциации и диссоциации молекул красителя метиленового голубого	Спектроскопическое определение констант ассоциации и диссоциации молекул красителя метиленового голубого	
7	Определение энергии фотодиссоциации I <sub>2</sub> .	Определение энергии фотодиссоциации I <sub>2</sub> .	
8	Определение ширины запрещенной зоны микрокристаллов методом спектроскопии диффузного отражения	Определение ширины запрещенной зоны микрокристаллов методом спектроскопии диффузного отражения	
9	Абсорбционная спектрофотометрия ансамблей осцилляторов с неоднородным уширением	Абсорбционная спектрофотометрия ансамблей осцилляторов с неоднородным уширением	

### 13.2. Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Виды занятий (часов)					
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	Контроль	Всего
1.	Введение в фотонику молекул	16			6	4	26
2.	Фотоника кристаллов	10			6	4	20
3	Фотоника наноструктур	12			6	4	22
4	Эффекты экситон-плазмонного взаимодействия в гибридных наноструктурах	6			6	4	16
5	Основы абсорбционной спектрофотометрии молекул красителей			10	8	4	22
6	Спектроскопическое определение констант ассоциации и диссоциации молекул красителя метиленового голубого			8	6	4	18
7	Определение энергии фотодиссоциации I <sub>2</sub> .			8	6	4	18
8	Определение ширины запрещенной зоны микрокристаллов методом спектроскопии диффузного отражения			8	6	4	18
9	Абсорбционная спектрофотометрия ансамблей осцилляторов с неоднородным уширением			10	6	4	20
<b>Итого</b>		<b>44</b>	<b>0</b>	<b>44</b>	<b>56</b>	<b>36</b>	<b>180</b>

### 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) Лабораторные занятия. При подготовке к лабораторным занятиям студентам рекомендуется: внимательно ознакомиться с тематикой лабораторной работы, прочесть конспект лекции по теме, изучить рекомендованную литературу; составить краткий конспект, в котором указать цель работы, оборудование, описание установки и методики измерения; 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. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	Слюсарева Е.А. Оптическая спектроскопия: сложные молекулы: учебное пособие // Е.А. Слюсарева, М.А. Герасимова, Н.В. Слюсаренко // Красноярск : СФУ, 2018. – 116 с. <a href="https://reader.lanbook.com/book/117772#2">https://reader.lanbook.com/book/117772#2</a>

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
2	Ельяшевич М.А. Атомная и молекулярная спектроскопия / М.А. Ельяшевич // М.: Эдиториал УРСС, 2001. – 895 с.
3	Бахшиев Н.Г. Введение в молекулярную спектроскопию / Н.Г. Бахшиев // Л.: Издательство ленинградского университета, 1987. – 216 с.
4	Турро Н. Молекулярная фотохимия / Н. Турро // М.: «МИР», 1967. -328 с.
5	Киреев, П.С. Физика полупроводников / П.С. Киреев // М.: Высшая школа, 1975. – 584 с.
6	Шалимова К.В. Физика полупроводников / К.В. Шалимова. – СПб.: Лань, 2010.- 390 с.
7	Панков, Ж. Оптические процессы в полупроводниках / Ж. Панков ; пер. с англ. под ред. Ж.И. Алфёрова и В.С. Вавилова. — Москва. : Мир, 1973. — 456 с.
8	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.

в) информационные электронно-образовательные ресурсы:

№ п/п	Источник
9	ЭБС Лань – <a href="https://e.lanbook.com/">https://e.lanbook.com/</a>

## 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.

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

В учебном процессе используются традиционные и дистанционные (ДОТ) образовательные технологии. По образовательным формам: лекционные 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 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. 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».

Специализированная мебель, фотоприемник PDF-10C/M, лазерный модуль/блок питания поворотного крепления, фотоэлектронный умножитель 928P, ПЗС-линейка ToshibaTCD1304AP, волоконно-оптический спектральный комплекс OceanOptics на 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 твердых образцов CUV-VAR и CUV-ALL-UV. Пакет ПО для управления спектрофотометром USB 2000+ (OceanOptics), для анализа и обработки данных, WinPro 8, OfficeStandard 2019.

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

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

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
1.	Введение в фотонику молекул	ОПК –2	ОПК-2.1 ОПК-2.2	Вопросы Тесты Задачи
2.	Фотоника кристаллов			
3.	Фотоника наноструктур			
4.	Эффекты экситон-плазмонного			

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
	<i>взаимодействия в гибридных наноструктурах</i>			
5	<i>Основы абсорбционной спектрофотометрии молекул красителей</i>			
6	<i>Спектроскопическое определение констант ассоциации и диссоциации молекул красителя метиленового голубого</i>			
7	Определение энергии фотодиссоциации I <sub>2</sub> .			
8	Определение ширины запрещенной зоны микрокристаллов методом спектроскопии диффузного отражения			
9	Абсорбционная спектрофотометрия ансамблей осцилляторов с неоднородным уширением			
Промежуточная аттестация форма контроля – экзамен				КИМ

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

### 20.1 Текущая аттестация

**Текущая аттестация №1.** Выполнение лабораторной работы №1.

**Текущая аттестация №2.** Выполнение лабораторной работы №2.

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:**

**«Отлично»** – студент выполнил работу, при защите продемонстрировал высокий уровень освоения материала по тематике работы; способность дать правильную трактовку результатам, полученным при выполнении работы.

**«Хорошо»** – студент выполнил работу, при защите продемонстрировал достаточный уровень освоения материала по тематике работы; способность дать правильную трактовку результатам, полученным при выполнении работы.

**«Удовлетворительно»** – студент выполнил работу, при защите продемонстрировал удовлетворительный уровень освоения материала по тематике работы; способность дать правильную трактовку результатам, полученным при выполнении работы.

**«Не удовлетворительно»** – студент не выполнил работу; при защите не продемонстрировал знаний материала по тематике работы; не способен дать трактовку результатам, полученным при выполнении работы.

#### **Контрольные вопросы к лабораторному практикуму**

1. Вероятности переходов между электронно-колебательно-вращательными состояниями.
2. Принцип Франка-Кондона для поглощения и испускания.
3. Закон Бугера
4. Диаграмма Яблонского.
5. Техника абсорбционной спектроскопии. Принципиальная и оптическая схемы установки для проведения абсорбционных исследований.
6. Техника люминесцентной спектроскопии. Принципиальная и оптическая схемы установки для проведения люминесцентных исследований.

#### **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. Подводятся итоги по выполнению всех лабораторных работ. 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 (вопросы к экзамену и задачи см. в Приложении 1 к рабочей программе дисциплины). 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 60 мин, время ответа не более 15 мин.

#### **Пример КИМ:**

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

Направление подготовки 12.03.03 Фотоника и оптоинформатика  
Дисциплина \_\_\_\_\_ Фотоника молекул, кристаллов и наноструктур  
Форма обучения \_\_\_\_\_ очная  
Вид контроля \_\_\_\_\_ Экзамен  
Вид аттестации \_\_\_\_\_ промежуточная

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

1. Интерспиновая конверсия. Схема Яблонского.
2. Рекомбинационная люминесценция в КТ.
3. В присутствии вещества Q интенсивность флуоресценции люминофора F снижается согласно таблице:

$C_Q, 10^{-3}$ моль/л	0	0.05	0.10	0.20	0.30	0.40	0.60	0.80	1.00
$I, \text{отн.ед.}$	100.0	80.0	66.7	50.2	40.0	33.3	25.1	20.0	16.6



Формы спектров поглощения и флуоресценции люминофора F в отсутствие и в присутствии тушителя Q не отличаются. Найдите константу тушения, в ответе укажите значение, уменьшенное в 1000 раз. (приведите краткое решение, ответ округлите до десятых)

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

### Вопросы к экзамену:

- 1 Фотофизика молекул красителей. Электронное строение молекул. Понятие Хромофор, ауксохром.
- 2 Фотофизика молекул красителей. Цвет и спектр поглощения
- 3 Адиабатическое приближение в молекулярной задаче.
- 4 Электронно-колебательно-вращательные уровни многоатомных молекул. Принцип Паули.
- 5 Строение электронных оболочек молекул:  $n$ ,  $\pi$ ,  $\sigma$  орбитали.
- 6 Синглетные и триплетные состояния молекул.
- 7 Правила отбора для оптических переходов в поглощении и излучении.
- 8 Принцип Франка – Кондона.
- 9 Законы поглощения и люминесценции молекул.
- 10 Интерспиновая конверсия. Схема Яблонского.
- 11 Фотохимические реакции с участием молекул красителей. Законы фотохимии.
- 12 Основные типы фотохимических реакций в красителях.
- 13 Фотораспад, фотоперегруппировка, фотоприсоединение
- 14 Фотоперенос электрона, фотосенсибилизация, фотолиз
- 15 Электронное строение твердых тел. Уравнение Шрёдингера для кристалла.
- 16 Адиабатическое приближение для кристалла
- 17 Одноэлектронное приближение для кристалла
- 18 Периодическое поле решётки кристалла. Оператор трансляции.
- 19 Квазиимпульс.
- 20 Эффективная масса электрона.
- 21 Зоны Бриллюэна.
- 22 Метод эффективной массы, кр теория.
- 23 Плотность состояний.
- 24 Фотофизика твердого тела. Собственное поглощение света кристаллами
- 25 Экситонное поглощение.
- 26 Люминесценция кристаллов.
- 27 Фотохимия кристаллов. Фотохимические реакции в кристаллах с участием структурно-примесных дефектов.
- 28 Фотолиз. Фотокаталитические реакции в твердом теле.
- 29 Фотоника квантовых ям. Размерное квантование в потенциальной яме бесконечной глубины.
- 30 Размерное квантование в потенциальной яме конечной глубины.
- 31 Экситон в квантовой яме. Правила отбора для оптических переходов в квантовых ямах.
- 32 Лазерный эффект в квантовых ямах.
- 33 Фотоника квантовых точек. Размерное квантование энергетических состояний в квантовых точках.
- 34 Правила отбора для оптических переходов в квантовых точках.
- 35 Приемы обработки и интерпретации спектров поглощения. Формулы Брюса и Кайанума.
- 36 Люминесценция квантовых точек. Экситонная, рекомбинационная и примесная люминесценция квантовых точек.
- 37 Приемы интерпретации спектров люминесценции КТ. Природа стоксова сдвига.
- 38 Тонкая структура экситона, экситонная люминесценция.
- 39 Локализованные состояния в нанокристаллах.
- 40 Динамика распада экситона вКТ.
- 41 Рекомбинационная люминесценция в КТ.
- 42 Пространственная локализация экситонов. Возбужденные состояния экситонов.
- 43 Вероятности переходов и форма спектров излучателя в присутствии плазмонных наночастиц.

## Тестовые задания (закрытые)

1. Укажите верное соотношение между составляющими энергии молекулы:

- а)  $E_{\text{эл}} \gg E_{\text{колеб}} \gg E_{\text{вращ}}$
- б)  $E_{\text{эл}} \gg E_{\text{вращ}} \gg E_{\text{колеб}}$
- в)  $E_{\text{вращ}} \gg E_{\text{колеб}} \gg E_{\text{эл}}$
- г)  $E_{\text{вращ}} \gg E_{\text{эл}} \gg E_{\text{колеб}}$

2. Выберите правильный вариант ответа:

Спектр поглощения красителя представляет собой широкую полосу в области 450 – 650 нм. Каков видимый цвет данного красителя?

- а) пурпурный
- б) красный
- в) бирюзовый
- г) зеленый

3. Укажите процесс, который схематично можно изобразить следующим образом:  $A^* + H_2O \rightarrow \text{HAOH}$ .

- а) фотолюминесценция
- б) фотодимеризация
- в) фотогидролиз
- г) фотодиссоциация

4. Выберите правильный вариант ответа:

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
- д) сферическими функциями Неймана и Ханкеля

5. Выберите правильный вариант ответа:

К формулировке теоремы Блоха относится:

- А. Собственные функции в конечной идеальной кристаллической решетке имеют вид сферических волн.
- Б. Движение электрона в идеальной кристаллической решетке приводит к коммутированию операторов трансляционной симметрии и гамильтониана системы.
- В. Движение электрона в поле кристаллической решетки сводится к одноэлектронной задаче.
- Г. Собственные функции в бесконечно протяженной решетке имеют вид плоских волн, модулированных с периодом решетки.

6. Выберите правильный вариант ответа:

Понятие огибающей волны возникает в:

- А. Методе эффективных масс.
- Б. Формализме вторичного квантования.
- В. Методах расчета ab initio.
- Г. Методах молекулярной динамики.

7. Выберите правильный вариант ответа:

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. Выберите правильный вариант ответа:

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. Выберите правильный вариант ответа:

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. Выберите правильный вариант ответа:

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.

**Открытые задания (расчетные задачи, ситуационные, практико-ориентированные задачи / мини-кейсы):**

1. Найти момент инерции (в  $10^{-52}$  г·см<sup>2</sup>) молекулы HCl, если вращательная константа, полученная экспериментально равна  $B = 10.495$  см<sup>-1</sup>.  $\hbar = 1.054 \cdot 10^{-27}$  эрг·с. (приведите краткое решение, ответ округлите до десятых)
2. Найти момент инерции (в  $10^{-52}$  г·см<sup>2</sup>) молекулы HF, если вращательная константа, полученная экспериментально равна  $B = 13,795$  см<sup>-1</sup>.  $\hbar = 1.054 \cdot 10^{-27}$  эрг·с. (приведите краткое решение, ответ округлите до десятых)
3. При изучении разделения статических и динамических компонент для тушения акридона йодид-ионами были получены следующие данные (в воде при 26°C).  $F_0$  и  $F$  – квантовый выход акридона чистого и в присутствии тушителя соответственно.

[KI], М	[KNO <sub>2</sub> ], М	$F_0/F$
0	1,10	1,0
0,04	1,06	4,64
0,10	1,00	10,59
0,20	0,90	23,0
0,30	0,80	37,2
0,50	0,60	68,6
0,80	0,30	104

KNO<sub>2</sub> применяется для поддержания постоянной ионной силы и не тушит флуоресценцию акридона. Определите статическую константу тушения. (приведите краткое решение, ответ округлите до целых)

4. В присутствии вещества Q интенсивность флуоресценции люминофора F снижается согласно таблице:

$C_Q, 10^{-3} \text{ моль/л}$	0	0.05	0.10	0.20	0.30	0.40	0.60	0.80	1.00
$I, \text{отн.ед.}$	100.0	80.0	66.7	50.2	40.0	33.3	25.1	20.0	16.6

Формы спектров поглощения и флуоресценции люминофора F в отсутствие и в присутствии тушителя Q не отличаются. Найдите константу тушения, в ответе укажите значение, уменьшенное в 1000 раз. (приведите краткое решение, ответ округлите до десятых)

5. Сформулируйте правило Гунда по определению основного терма.
6. Сформулируйте общий вид волновой функции для кристаллов и почему она такая?
7. Перечислите основные элементарные процессы внутримолекулярного и междумолекулярного превращения энергии, которые можно условно назвать физическими реакциями.
8. Рассчитать боровский радиус экситона в кристалле сульфида кадмия.
9. 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.
10. 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.
11. 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.