

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

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой  
оптики и спектроскопии

  
Овчинников О.В.  
подпись

05.06.2025 г.

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.В.06 Люминесценция: материалы и сенсорика

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: Смирнов Михаил Сергеевич, доктор физико-математических наук, профессор, Возгорькова Екатерина Александровна, кандидат физико-математических наук
7. Рекомендована: НМС физического факультета, 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:* познакомить студентов с закономерностями молекулярной люминесценции, а также с люминесценцией кристаллов и квантоворазмерных структур; дать базовые навыки методов люминесцентного анализа; познакомить с возможностями применения явления люминесценции в фотонных устройствах.

*Задачи учебной дисциплины:*

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

**10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:** дисциплина Б1.В.06 «Люминесценция: материалы и сенсорика» относится к части, формируемой участниками образовательных отношений, Блок 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-2	Способен экспериментально исследовать перспективные материалы и моделировать процессы в устройствах фотоники и оптоинформатики	ПК-2.1	Ставит задачи и определяет набор параметров, с учетом которых должно быть проведено моделирование процессов, явлений и особенностей работы устройств фотоники и оптоинформатики	<i>знать:</i> фундаментальные законы люминесценции молекул, кристаллов и квантоворазмерных объектов <i>уметь:</i> применять теоретические знания для постановки задач исследовательской деятельности <i>владеть:</i> навыками интерпретации результатов исследований
ПК-3	Способен выбирать научно-исследовательское и технологическое оборудование с учетом особенностей нанотехнологических процессов создания материалов и устройств фотоники и оптоинформатики	ПК-3.1	Проводит научные исследования в области фотоники, используя специализированное исследовательское оборудование, приборы и установки	<i>знать:</i> технические возможности существующего оборудования, необходимого для исследований материалов фотоники <i>уметь:</i> формулировать техническое задание на проведение исследований материалов для устройств фотоники <i>владеть:</i> методиками экспериментальной проверки выбранных технологических решений производства оптических приборов, исследования параметров наноструктурных материалов в соответствии с самостоятельно выбранной и утвержденной методикой
ПК-4	Способен разрабатывать новые технологии создания оптических сред, материалов и устройств фотоники и оптоинформатики	ПК-4.1	Производит согласование возможности и порядка использования лабораторного оборудования для исследовательских и экспериментальных	<i>знать:</i> принципы работы, возможности и назначение специализированного оборудования и приборов для фотонных и оптических исследований <i>уметь:</i> подбирать комплектующие и оборудование исходя из поставленной задачи и

			работ по анализу материалов и апробированию технологических процессов	доступных ресурсов <i>владеть:</i> современными методиками люминесцентного анализа
		ПК-4.2	Формулирует техническое задание на проведение исследований материалов для устройств фотоники и оптоинформатики для экспериментальной проверки технологических процессов	
		ПК-4.3	Производит экспертную оценку результатов исследовательских работ и принимает решение о выборе оптимального варианта технологического процесса	

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

**Форма промежуточной аттестации зачет с оценкой.**

### 13. Виды учебной работы

Вид учебной работы		Трудоемкость	
		Всего	По семестрам
Аудиторные занятия		64	64
в том числе:	лекции	32	32
	практические	0	0
	лабораторные	32	32
Самостоятельная работа		44	44
в том числе: курсовая работа (проект)		-	-
Форма промежуточной аттестации ( <i>зачет с оценкой</i> )		0	0
Итого:		108	108

### 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 понятия «люминесценция». Физическая природа люминесценции. Спектральная плотность излучения. Спектры люминесценции. Аппаратура для регистрации спектров люминесценции.	
2.	Основные законы молекулярной люминесценции	Электронная, колебательная и вращательная энергия молекул. Представление о мультиплетности, диаграмма Яблонского. Потенциал Морзе для двухатомной молекулы, неадиабатичность. Принцип Франка-Кондона. Законы молекулярной люминесценции. Люминесценция молекул с большим стоксовым сдвигом.	
3	Кинетика молекулярной люминесценции	Кинетика мономолекулярной люминесценции. Кинетика бимолекулярной люминесценции.	
4	Теория переноса энергии	Тушение молекулярной люминесценции. Безызлучательный перенос энергии электронного возбуждения. Эффект Фано. Уравнение Штерна-Фольмера.	
5	Люминесценция кристаллов	Особенности люминесценции кристаллов. Дефекты в кристаллах. Механизмы люминесценции кристаллов. Рекомбинация	
6	Люминесценция квантовых точек	Механизмы люминесценции квантовых точек. Природа стоксова сдвига. Связь со структурой зоны Бриллюэна массивного полупроводника.	
7	Оптические сенсоры	Фосфоресценция синглетного кислорода. Сенсоры активных форм кислорода	
<b>2. Лабораторный практикум</b>			
8	Законы молекулярной люминесценции	Проверка закона независимости спектра люминесценции от длины волны возбуждения, проверка правила зеркальной симметрии Лёвшина. Определение 0-0 перехода красителя метиленового голубого	
9	Определение константы статического тушения люминесценции.	Изучение механизмов тушения молекулярной люминесценции. Проверка выполнения уравнения Штерна-Фольмера. Определение константы статического тушения люминесценции красителя 1 в присутствии красителя 2.	
10	Фотосенсибилизация образования синглетного кислорода. Сенсоры активных форм кислорода	Изучение фосфоресценции синглетного кислорода. Знакомство с сенсорами активных форм кислорода.	

### 13.2. Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Виды занятий (часов)					Всего
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	Контроль	
1.	Введение.	4			6		10
2.	Основные законы молекулярной люминесценции	4			4		8
3.	Кинетика молекулярной люминесценции	4			4		8
4.	Теория переноса энергии	6			4		10
5.	Люминесценция кристаллов	4			4		8
6.	Люминесценция квантовых точек	6			6		12
7.	Оптические сенсоры	4			4		8
8.	Законы молекулярной люминесценции			12	4		16
9.	Определение константы статического тушения люминесценции.			10	4		14
10.	Фотосенсибилизация образования синглетного кислорода. Сенсоры активных форм кислорода			10	4		14
	<i>Итого</i>	32	0	32	44		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) 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. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1.	Люминесцентный анализ / под ред. М.А. Константиновой-Шлезингер // М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1961. – 400 с.
2.	Киреев, П.С. Физика полупроводников / П.С. Киреев // М.: Высшая школа, 1975. – 584 с.
3.	Шалимова, К.В. Физика полупроводников / К.В. Шалимова // СПб.: Лань, 2010. – 390 с.
4.	Сидоров, А. И. Сенсорная фотоника: учебное пособие / А. И. Сидоров // Университет ИТМО. – СПб.: Университет ИТМО, 2019. – 99 с.: ил., табл., схем. – Режим доступа: по подписке. – URL: <a href="https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=566783">https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=566783</a>
5.	Лакович, Дж. Основы флуоресцентной спектроскопии / Дж. Лакович // М.: Мир, 1986. – 496 с.

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
6.	Паркер, С. Фотолюминесценция растворов / С. Паркер // М.: Мир, 1972. – 512 с.
7.	Гришаева, Т.И. Методы люминесцентного анализа / СПб.: АНО НПО «Профессионал», 2003. – 226 с.
8.	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.
9.	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
10.	ЭБС «Университетская библиотека Online» – <a href="https://biblioclub.ru/">https://biblioclub.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. Информационные технологии, используемые для реализации учебной дисциплины, включая программное обеспечение и информационно-справочные системы (при необходимости)

. В учебном процессе используются традиционные и дистанционные образовательные технологии. По образовательным формам: лекционные и лабораторные 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 устных вопросов); 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, цели 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. 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, Zoom, Discord и др.), электронная почта, мессенджеры и соцсети.

### 18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

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

Специализированная мебель, фотоприемник PDF-10C/M, лазерный модуль/блок питания поворотного крепления, фотоэлектронный умножитель 928P, ПЗС-линейка ToshibaTCD1304AP, 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 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

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
1.	Введение.	ПК-2 ПК-3 ПК-4	ПК-2.1 ПК-3.1 ПК-4.1 ПК-4.2 ПК-4.3	Вопросы, тесты, задачи
2.	Основные законы молекулярной люминесценции			
3.	Кинетика молекулярной люминесценции			
4.	Теория переноса энергии			
5.	Люминесценция кристаллов			
6.	Люминесценция квантовых точек			
7.	Оптические сенсоры			
8.	Законы молекулярной люминесценции			
9.	Определение константы статического тушения люминесценции.			
10.	Фотосенсибилизация образования синглетного кислорода. Сенсоры активных форм кислорода			
Промежуточная аттестация форма контроля – зачет с оценкой				Перечень вопросов + Практические задания

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

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

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

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

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

### **20.2. Промежуточная аттестация**

Форма проведения промежуточной аттестации по дисциплине – зачет с оценкой. На промежуточной аттестации подводится итог выполнения всех лабораторных работ согласно программе дисциплины.

#### **Критерии и шкалы оценивания:**

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

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

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

**«Не удовлетворительно»** – студент не выполнил работы; при защите не

продемонстрировал знаний материала по тематике работ; не способен дать трактовку результатам, полученным при выполнении работы.

Оценка на зачете 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 зачет на общих основаниях.

Зачет проводится в письменной форме. вопросы к зачету 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 45 мин, время ответа не более 15 мин.

**Пример КИМ:**

**Контрольно-измерительный материал № 1**

**Закрытые задания:**

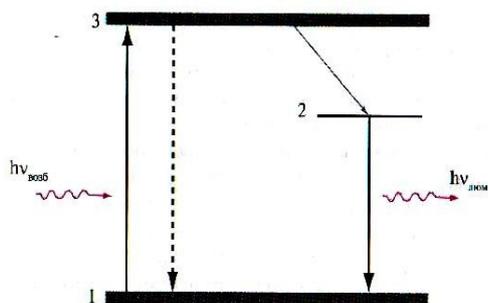
1. Излучение, представляющее собой избыток над тепловым излучением тела при данной температуре, называется:

- а) ионизирующим излучением;
- б) люминесценцией;
- в) рентгеновским излучением;
- г) лазерным излучением.

2. Переход из возбужденного состояния молекулы в невозбужденное, сопровождающийся излучением энергии, имеющий самую большую длительность во времени называется:

- а) флуоресценция;
- б) колебательная релаксация;
- в) внутренняя конверсия;
- г) фосфоресценция.

3. На приведенной схеме квантовых переходов при элементарном процессе люминесценции переход 3 → 2 соответствует:



- а) безызлучательному переходу;
- б) резонансной люминесценции;
- в) спонтанной люминесценции;
- г) метастабильной люминесценции.

4. Энергия фотона пропорциональна:

- а) частоте;
- б) длине волны;
- в) скорости фотона.

5. Закон С.И. Вавилова гласит, что

- а) форма спектра люминесценции не зависит от длины волны возбуждающего излучения;
- б) квантовый выход не зависит от длины волны возбуждающего света;
- в) спектр люминесценции сдвинут по сравнению со спектром поглощения в длинноволновую область;
- г) спектры поглощения и флуоресценции зеркально симметричны относительно прямой, перпендикулярной оси частот и проходящей через точку пересечения спектров.

*Задача:* Найти энергии квантов (в эВ и Дж) лазерного излучения с длиной волны генерации 1.06 мкм, если  $1 \text{ Дж} = 6,25 \cdot 10^{18} \text{ эВ}$ ?

*Вопрос:* Особенности люминесценции кристаллов. Дефекты в кристаллах

### **Критерии и шкалы оценивания:**

Для оценивания выполнения 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:

- 2 балла – 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).

#### 3) 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

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

- от 8 до 9 баллов - «отлично»;
- от 6 до 7 баллов - «хорошо»;
- от 2 до 3 баллов - «удовлетворительно»;
- от 0 до 1 баллов – «неудовлетворительно».



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

### **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. Фотолюминесценция. Спектры ФЛ. Спектры возбуждения ФЛ.
6. Закон Вавилова независимости спектра ФЛ от длины волны возбуждения
7. Правило зеркальной симметрии Лёвшина.
8. Частота 0-0 перехода.
9. Универсальное соотношение Степанова.
10. Закон Стокса – Ломмеля.
11. Какова связь между энергетическим и квантовым выходами флуоресценции?
12. Как зависит интенсивность флуоресценции от концентрации?
13. Дать понятие безызлучательных переходов.
14. Описать с использованием диаграммы Яблонского процесс замедленной флуоресценции.
15. Описать с использованием диаграммы Яблонского процесс фосфоресценции.
16. Техника абсорбционной спектроскопии. Принципиальная и оптическая схемы установки для проведения абсорбционных исследований.
17. Техника люминесцентной спектроскопии. Принципиальная и оптическая схемы установки для проведения люминесцентных исследований.
18. Назначение светофильтров. Классификация светофильтров по спектральным характеристикам и по принципу действия.
19. Способы определения коэффициента коррекции спектра флуоресценции.
20. Эффекты внутреннего фильтра
21. Виды тушения молекулярной люминесценции
22. Кинетика затухания люминесценции
23. Истинное и излучательное время затухания люминесценции
24. Уравнение Штерна-Фольмера.
25. Статическое тушение люминесценции
26. Динамическое тушение люминесценции
27. Влияние вязкости раствора на динамическое тушение люминесценции
28. Что такое синглетный кислород. Энергетическая схема уровней молекулы  $O_2$ . Обоснование триплетности состояния молекулы  $O_2$ .
29. Переходы между состояниями молекулы  $O_2$ . Синглет-триплетная фосфоресценция молекулы  $O_2$ .
30. Триплет-триплетный перенос энергии возбуждения
31. Процесс сенсibilизации синглетного кислорода красителями. Условия применимости красителя.
32. Триплет-триплетный перенос энергии возбуждения
33. Детектирование синглетного кислорода на основе его фосфоресценции
34. Сравнение путей образования синглетного кислорода посредством переноса энергии (на примере красителей) и переноса заряда (на примере диоксида титана).
35. Практические приложения сенсibilизаторов активных форм кислорода.
36. Понятие «квантовая точка». Особенности коллоидных растворов квантовых точек.
37. Размерный эффект в спектрах поглощения и люминесценции квантовых точек
38. Спектры возбуждения люминесценции квантовых точек

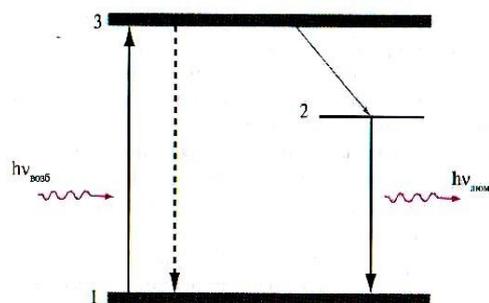
39. Механизмы люминесценции квантовых точек. Стоксов сдвиг.
40. Интерпретация оптических спектров квантовых точек

**Перечень вопросов к зачету с оценкой:**

1. Определение понятия «люминесценция».
2. Физическая природа люминесценции
3. Спектральная плотность излучения
4. Диаграмма Яблонского
5. Законы молекулярной люминесценции
6. Кинетика мономолекулярной люминесценции
7. Кинетика бимолекулярной люминесценции
8. Тушение молекулярной люминесценции
9. Теория Фёрстера для молекул
10. Эффект Фано
11. Особенности люминесценции кристаллов. Дефекты в кристаллах
12. Механизмы люминесценции кристаллов. Рекомбинация
13. Механизмы люминесценции квантовых точек
14. Фосфоресценция синглетного кислорода. Сенсоры активных форм кислорода
15. Механизмы тушения молекулярной люминесценции.
16. Уравнение Штерна-Фольмера.
17. Фосфоресценции синглетного кислорода.
18. Люминесценция сенсоров активных форм кислорода.
19. Механизмы люминесценции квантовых точек
20. Размерная зависимость люминесценции квантовых точек.
21. Стоксов сдвиг люминесценции коллоидных квантовых точек.

**Закрытые задания:**

1. Излучение, представляющее собой избыток над тепловым излучением тела при данной температуре, называется:
  - а) ионизирующим излучением;
  - б) люминесценцией;
  - в) рентгеновским излучением;
  - г) лазерным излучением.
  
2. Переход из возбужденного состояния молекулы в невозбужденное, сопровождающийся излучением энергии, имеющий самую большую длительность во времени называется:
  - а) флуоресценция;
  - б) колебательная релаксация;
  - в) внутренняя конверсия;
  - г) фосфоресценция.
  
3. На приведенной схеме квантовых переходов при элементарном процессе люминесценции переход  $3 \rightarrow 2$  соответствует:



- а) безызлучательному переходу;
- б) резонансной люминесценции;
- в) спонтанной люминесценции;

г) метастабильной люминесценции.

4. Энергия фотона пропорциональна:

- а) частоте;
- б) длине волны;
- в) скорости фотона.

5. Закон С.И. Вавилова гласит, что

- а) форма спектра люминесценции не зависит от длины волны возбуждающего излучения;
- б) квантовый выход не зависит от длины волны возбуждающего света;
- в) спектр люминесценции сдвинут по сравнению со спектром поглощения в длинноволновую область;
- г) спектры поглощения и флуоресценции зеркально симметричны относительно прямой, перпендикулярной оси частот и проходящей через точку пересечения спектров.

6. Характеристический параметр люминесценции, зависящий от длины волны возбуждающего излучения:

- а) спектр люминесценции;
- б) выход (квантовый, энергетический) люминесценции;
- в) величина стоксовского смещения.

7. Выход флуоресценции характеризуется

- а) эффективностью трансформации возбуждающего излучения в излучение флуоресценции;
- б) спектральным составом флуоресценции;
- в) длительностью флуоресценции;
- г) величиной стоксовского смещения.

8. Нормированными называются спектры поглощения и люминесценции:

- а) приведенные к единой высоте максимума интенсивности;
- б) приведенные к единой частоте;
- в) приведенные к единой длине волны.

9. Свет, излучаемый при фотолюминесценции, по сравнению со светом, возбуждающим свечение, имеет, как правило, длину волны:

- а) большую;
- б) меньшую;
- в) одинаковую;
- г) много меньшую.

10. Инфракрасное излучение имеет длины волн:

- а) меньшие, чем длины волн ультрафиолетового излучения;
- б) меньшие, чем длины волн видимого диапазона;
- в) большие, чем длины волн видимого диапазона.

11. Какой фильтр следует поместить перед приемником излучения, чтобы исключить возбуждающее излучения в спектре люминесценции образца при возбуждении лазерным диодом с длиной волны 650 нм?

- а) FEL 500;
- б) FEL 700;
- в) FL 650
- г) FS 700.

12. Как от расстояния между донором и акцептором зависит эффективность индуктивного безызлучательного резонансного переноса энергии электронного возбуждения в случае диполь-дипольного взаимодействия?

- а)  $\sim R^4$ ;

- б)  $\sim R^{-6}$ ;
- в)  $\sim R^{-5}$ ;
- г)  $\sim R^{-5}$ ;
- д)  $\sim R^{-6}$ ;
- е)  $\sim R^{-4}$ .

13. Экситонная люминесценция в полупроводниковых нанокристаллах возникает в результате

- а) рекомбинации электрона из валентной зоны и дырки из зоны проводимости;
- б) рекомбинации электрона из зоны проводимости и дырки из валентной зоны;
- в) рекомбинации электрона из зоны проводимости и дырки с примесного уровня
- г) рекомбинация электрона и дырки, образующих экситон

14. К безызлучательной потере части поглощенной энергии возбужденной молекулы относят следующие переходы:

- а) флуоресценция;
- б) внутренняя конверсия;
- в) интеркомбинационная конверсия;
- г) фосфоресценция.

15. Время жизни возбужденного состояния – это

- а) величина, которая характеризует среднюю продолжительность нахождения молекулы в возбужденном состоянии;
- б) величина, равная времени испускания одного кванта;
- в) величина равная отношению времени нахождения молекулы в возбужденном состоянии к длительности возбуждающего импульса.

16. При помощи какого стандартного сенсора возможно детектировать супероксид?

- А) Цитохром С;
- Б) Люминол;
- В) AmplexRed;
- Г) Цитохром А.

17. При помощи какого стандартного сенсора возможно детектировать перекись водорода?

- А) Цитохром С;
- Б) Люминол;
- В) AmplexRed;
- Г) Цитохром А.

18. Метод, использующий соотношение интенсивностей люминесценции двух полос в работе сенсора называется

- а) логометрическим;
- б) калориметрическим;
- в) ратиометрическим;
- г) полосовым?

19. К динамическим характеристикам оптических сенсоров относятся:

- а) рабочий диапазон;
- б) линейный диапазон;
- в) предел обнаружения;
- г) время отклика;
- д) время регенерации

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

1. Дайте определение понятия «люминесценция»?
2. Что представляет собой спектр люминесценции?

3. Перечислите типы люминесценции по виду возбуждения, длительности свечения?
4. Что описывает закон Стокса-Ломмеля?
5. Сформулируйте принцип Франка-Кондона.
6. Оптическая плотность вещества равна 0,06, а интенсивность люминесценции в 5 раз меньше интенсивности возбуждающего света. Найти квантовый выход люминесценции вещества.
7. Оптическая плотность вещества равна 0.1, а интенсивность люминесценции в 3 раз меньше интенсивности возбуждающего света. Найти квантовый выход люминесценции вещества.
8. Как изменится интенсивность фотолюминесценции, если увеличить оптическую плотность образца от 0,1 до 1 при фиксированной длине волны возбуждающего света?
9. Как изменится интенсивность фотолюминесценции, если уменьшить оптическую плотность образца от 0,1 до 0,01 при фиксированной длине волны возбуждающего света?
10. Что такое выход флуоресценции и как он связан с интенсивностью флуоресценции и концентрацией исследуемого вещества?
11. В чем заключается правило зеркальной симметрии (правило Левшина)?
12. Найти энергии квантов (в эВ и Дж) лазерного излучения с длиной волны генерации 0.63 мкм, если  $1 \text{ Дж} = 6,25 \cdot 10^{18} \text{ эВ}$ ?
13. Найти энергии квантов (в эВ и Дж) лазерного излучения с длиной волны генерации 10.16 мкм, если  $1 \text{ Дж} = 6,25 \cdot 10^{18} \text{ эВ}$ ?
14. Найти энергии квантов (в эВ и Дж) лазерного излучения с длиной волны генерации 1.06 мкм, если  $1 \text{ Дж} = 6,25 \cdot 10^{18} \text{ эВ}$ ?
15. Перечислите основные характеристики оптических сенсоров?
16. Опишите принцип работы сенсора Цитохром С для детектирования супероксида.
17. Опишите принцип работы сенсора AmplexUltraRed для детектирования перекиси водорода?
18. Опишите явление реабсорбции, что является его причинами?
19. В чем заключается явление безызлучательного резонансного переноса энергии электронного возбуждения?
20. Какие факторы влияют на скорость безызлучательного резонансного переноса энергии электронного возбуждения?
21. В каком случае тушение люминесценции называют статическим?
22. Какое тушение называют динамическим?