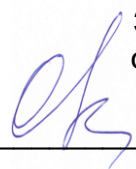


МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

УТВЕРЖДАЮ

 Заведующий кафедрой
оптики и спектроскопии
(Овчинников О.В.)

05.06.2025 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.В.03 Люминесценция в нанопотонике

1. Код и наименование направления подготовки: 03.04.02 Физика
2. Профиль подготовки: Оптика и нанопотоника
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, доцент
7. Рекомендована: НМС физического факультета ВГУ, протокол №6 от 04.06.2025

8. Учебный год: 2026/2027

Семестр(-ы): 3

9. Цели и задачи учебной дисциплины:

Целями освоения учебной дисциплины являются: формирование профессиональной компетенции студентов физического факультета, обучающихся по магистерской программе "Оптика и нанофотоника", в области люминесцентной спектроскопии молекул, кристаллов и наноструктур.

Задачи учебной дисциплины:

- сформировать у студентов целостное представление об основных закономерностях явления люминесценции,
- освоить методы получения и анализа спектров люминесценции.

10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:

Дисциплина _Б1.В.03 "Люминесценция в нанофотонике" относится к вариативной части цикла Б1. Для освоения данной дисциплины необходимы базовые знания по оптической спектроскопии молекул и твердых тел, а также фотонике молекул, кристаллов и наноструктур.

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

Код	Название компетенции	Код(ы)	Индикатор(ы)	Планируемые результаты обучения
ПК-1	Способен к формулировке и анализу поставленной задачи исследований в области оптики и нанофотоники, а также смежных областей науки и техники, обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы	ПК-1.1	Проводит поиск научно-технической информации для разработки и анализа методик контроля технологических процессов создания наноструктурированных материалов для приборов квантовой	Знать: основы люминесцентного анализа вещества, место и роль люминесценции нанокристаллов в современной нанофотонике, влияние электронного строения наноструктуры на ее люминесцентные свойства. Уметь: применять теорию люминесценции и основные методы люминесцентного анализа при исследовании оптических свойств различных нанокристаллов. Владеть: знаниями физических процессов, происходящих при рекомбинационном свечении, возможностей и достижений современного люминесцентного анализа в оптике и нанофотонике.
		ПК-1.2	Работает с научно-технической информацией, представляет информацию в систематизированном виде, обосновывает предлагаемые решения при выборе теоретических и экспериментальных методов	
ПК-2	Способен создавать базы данных о физических свойствах и технологических особенностях наноструктурных материалов, проводить экспериментальную проверку выбранных	ПК-2.1	Осуществляет подготовку реестра допустимых значений физических свойств и параметров наноструктурных материалов и комплектов для разработки технологических процессов	знать: принципы построения баз данных о физических свойствах и технологических особенностях наноструктурных материалов уметь: Создавать базы данных о физических свойствах и технологических особенностях наноструктурных материалов, проводить экспериментальную проверку выбранных технологических решений производства оптических и акустооптических приборов,

	технологических решений производства оптических и акустооптических приборов, исследовать параметры наноструктурных материалов в соответствии с самостоятельно выбранной и утвержденной методикой			исследовать параметры наноструктурных материалов в соответствии с самостоятельно выбранной и утвержденной методикой владеть: методиками экспериментальной проверки выбранных технологических решений производства оптических и акустооптических приборов, исследования параметров наноструктурных материалов в соответствии с самостоятельно выбранной и утвержденной методикой
--	--	--	--	---

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
			3
Аудиторные занятия		60	60
в том числе:	лекции	30	30
	практические		
	лабораторные	30	30
Самостоятельная работа		84	84
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
1	Введение. Основные законы молекулярной люминесценции	Определение люминесценции. Основные законы молекулярной люминесценции. Спектральная плотность излучения.
2	Кинетика люминесценции.	Простая двухуровневая схема, связь квантового выхода люминесценции, скорости излучательных и безызлучательных переходов. Мономолекулярная кинетика. Кинетика с учётом вынужденных переходов. Кинетика с учётом усреднения по ансамблю в случае внешнего и внутреннего тушителя. Бимолекулярная кинетика. Среднее время затухания люминесценции и среднее время жизни возбуждённого состояния.
3	Люминесценция одиночных молекул	Стационарное уравнение Шрёдингера для молекул. Электронные орбитали и электронный спин. Правила отбора для оптических переходов. Понятие о мультиплетности уровней. Диаграмма Яблонского для молекул. Люминесценция одиночных молекул. Техника и спектроскопия люминесценции одиночных молекул
4	Люминесценция кристаллов	Виды и механизмы люминесценции кристаллов.

5	Люминесценция коллоидных квантовых точек.	Тонкая структура экситона в коллоидных нанокристаллах. Экситонная и рекомбинационная люминесценция коллоидных квантовых точек. Процессы люминесценции с участием локализованных состояний.
6	Люминесценция гибридных наноструктур	Люминесценция гибридных наноструктур. Спектральные и кинетические проявления безызлучательного переноса энергии в коллоидных растворах ассоциатов органических молекул и неорганических нанокристаллов. Возможности реализации безызлучательного переноса энергии в гибридных наноструктурах. Индуктивно-резонансный и обменно-резонансный механизмы безызлучательного переноса энергии.
7	Лабораторная работа	Размерный эффект в люминесценции коллоидных нанокристаллов.

13.2 Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Виды занятий (часов)				
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	Контроль
1	Введение. Основные законы молекулярной люминесценции	5			7	4
2	Кинетика люминесценции.	6			7	3
3	Люминесценция одиночных молекул	5			7	4
4	Люминесценция кристаллов	6			7	3
5	Люминесценция коллоидных квантовых точек.	4			7	3
6	Люминесценция гибридных наноструктур	4			7	3
7	Лабораторная работа			30	42	16
	Итого	30		30	84	36

14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Основными этапами освоения дисциплины являются:

- Изучение учебной, научной и методической литературы, материалов периодических изданий с привлечением электронных средств научной информации.

- Подготовка к лабораторным занятиям.

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 лабораторных 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 (список литературы оформляется в соответствии с требованиями ГОСТ и используется общая сквозная нумерация для всех видов источников)

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	Шалимова К.В. Физика полупроводников / К.В. Шалимова. – СПб.: Лань, 2010.- 390 с.
2	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
3	Пустоваров, В. А. Люминесценция твердых тел : учебное пособие / В. А. Пустоваров ; науч. ред. И. И. Мильман ; Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина. – Екатеринбург : Издательство Уральского университета, 2017. – 131 с. : схем., табл., ил. – Режим доступа: по подписке. – URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=696088

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
4	Физика соединений $A^{II} B^{IV}$ / [Л.А. Бовина, М.С. Бродин, М.Я. Валах и др.] ; под ред. А.Н. Георгобиани, М.К. Шейнкмана. — Москва. : Наука, 1986. — 319 с.
5	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.
6	Клюев В.Г. Фотостимулированные явления в твердых телах / В.Г. Клюев. – Воронеж.: ВГУ, 2008. – 46 с.
7	Блейкмор, Дж. Физика твердого тела / Дж. Блейкмор ; Пер. с англ. под ред. Д. Г. Андрианова, В. И. Фистуля. — Москва. : Мир, 1988. — 608 с.
8	Грибковский В.П. Теория поглощения и испускания света в полупроводниках / В.П. Грибковский. — Минск : Наука и техника, 1975. — 463 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	Поисковая система e-library.ru
11	Поисковая система google.ru
12	Архив научных журналов http://arch.neicon.ru/
13	Единое окно доступа к образовательным ресурсам. Библиотека http://window.edu.ru/
14	Электронный каталог ЗНБ ВГУ https://www.lib.vsu.ru/
15	Электронная библиотека Попечительского совета механико-математического факультета МГУ lib.mexmat.ru

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	Блейкмор, Дж. Физика твердого тела / Дж. Блейкмор ; Пер. с англ. под ред. Д. Г. Андрианова, В. И. Фистуля. — Москва. : Мир, 1988. — 608 с.
2	Грибковский В.П. Теория поглощения и испускания света в полупроводниках / В.П. Грибковский. — Минск : Наука и техника, 1975. — 463 с.
3	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.

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

В учебном процессе используются следующие образовательные технологии. По образовательным формам: лекционные и практические занятия. Преобладающими методами и

приемам обучения являются: объяснительно-иллюстративные (объяснение, показ – демонстрация учебного материала и др.); активные (анализ учебной и научной литературы, составление схем и др.) и интерактивные, в том числе и групповые (взаимное обучение в форме подготовки и обсуждения докладов); информационные; мультимедийные (работа с сайтами академических структур, научно-исследовательских организаций, электронных библиотек и др., разработка презентаций, сообщений и докладов, работа с электронными обучающими программами и т.п.).

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

Организационная структура 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.

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

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

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

18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Ноутбук Asus, с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду ВГУ, Проектор BenQ MS 612ST, Доска магнитно-маркерная 100*200. Программное обеспечение: ОС Windows (WinPro 8 RUSUpgrdOLPNLAcademic), Microsoft Office (OfficeSTD 2013 RUSOLPNLAcademic). Программная система для обнаружения текстовых заимствований в учебных и научных работах «Антиплагиат.ВУЗ». Office Standard 2019 Single OLV NL Each AcademicEdition Additional Product. Программный комплекс для ЭВМ - MathWorks. Система инженерного моделирования ANSYS HF Academic Research.

Учебно-научные лаборатории для проведения лабораторных занятий:

прецизионный автоматический спектрофлуориметр на базе монохроматора МДР-4 и ФЭУ-79, работающий в режиме счета фотонов; прецизионный автоматический спектрофлуориметр на базе монохроматора МДР-23 и ФЭУ R955P (Hamamatsu), работающий в режиме счета фотонов.

Аудитория для групповых и индивидуальных консультаций, текущей и промежуточной аттестации

Аудитория для самостоятельной работы, компьютерный класс с доступом к сети «Интернет»: компьютеры (мониторы, системные блоки) (15 шт.)

Реализация дисциплины с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий осуществляется через образовательный портал "Электронный университет ВГУ" (<https://edu.vsu.ru>).

19. Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестаций

Наименование раздела	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного	Этапы формирования	ФОС
----------------------	--	--------------------	-----

дисциплины (модуля)	уровня освоения компетенции посредством формирования знаний, умений, навыков)	компетенции (разделы (темы) дисциплины или модуля и их наименование)	(средства оценивания)
ПК-1Способен к формулировке и анализу поставленной задачи исследований в области оптики и нанофотоники, а также смежных областей науки и техники, обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы	Знать: основы люминесцентного анализа вещества, место и роль люминесценции нанокристаллов в современной нанофотонике, влияние электронного строения наноструктуры на ее люминесцентные свойства. Уметь: применять теорию люминесценции и основные методы люминесцентного анализа при исследовании оптических свойств различных нанокристаллов. Владеть: знаниями физических процессов, происходящих при рекомбинационном свечении, возможностей и достижений современного люминесцентного анализа в оптике и нанофотонике	Разделы 1-7	Устный опрос
ПК-2Способен создавать базы данных о физических свойствах и технологических особенностях наноструктурных материалов, проводить экспериментальную проверку выбранных технологических решений производства оптических и акустооптических приборов, исследовать параметры наноструктурных материалов в соответствии с самостоятельно выбранной и утвержденной методикой	знать: принципы построения баз данных о физических свойствах и технологических особенностях наноструктурных материалов уметь: Создавать базы данных о физических свойствах и технологических особенностях наноструктурных материалов, проводить экспериментальную проверку выбранных технологических решений производства оптических и акустооптических приборов, исследовать параметры наноструктурных материалов в соответствии с самостоятельно выбранной и утвержденной методикой владеть: методиками экспериментальной проверки выбранных технологических решений производства оптических и акустооптических приборов, исследования параметров наноструктурных материалов в соответствии с самостоятельно выбранной и утвержденной методикой	Разделы 1-7	Устный опрос
Промежуточная аттестация (экзамен)			КИМ

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

Оценки знаний, умений и навыков, характеризующая этапы формирования компетенций в рамках изучения дисциплины осуществляется в ходе текущей и промежуточной аттестаций.

20.1. Текущий контроль успеваемости

Текущая аттестация проводится в соответствии с Положением о текущей аттестации обучающихся

ихся по

программам высшего образования Воронежского государственного университета. Текущая аттестация проводится в форме: устного опроса (индивидуальный опрос, фронтальная беседа); тестирования; оценки результатов практической деятельности (выполнение лабораторных работ). Критерии оценивания приведены выше.

Промежуточная аттестация проводится в соответствии с Положением о промежуточной аттестации обучающихся по программам высшего образования.

Контрольно-измерительные материалы промежуточной аттестации включают в себя теоретические вопросы, позволяющие оценить уровень полученных знаний.

При оценивании используется качественная шкала оценок. Критерии оценивания приведены ниже.

20.2. Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация проводится в соответствии с Положением о промежуточной аттестации обучающихся по программам высшего образования. Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств - контрольно-измерительных материалов в форме билетов, содержащих по два вопроса к экзамену из следующего перечня:

1. Определение люминесценции.
2. Основные законы молекулярной люминесценции.
3. Спектральная плотность излучения.
4. Простая двухуровневая схема, связь квантового выхода люминесценции, скорости излучательных и безызлучательных переходов.
5. Мономолекулярная кинетика.
6. Кинетика с учётом вынужденных переходов.
7. Кинетика с учётом усреднения по ансамблю в случае внешнего и внутреннего тушения.
8. Бимолекулярная кинетика.
9. Среднее время затухания люминесценции и среднее время жизни возбуждённого состояния.
10. Стационарное уравнение Шрёдингера для молекул. Электронные орбитали и электронный спин. Правила отбора для оптических переходов. Понятие о мультиплетности уровней.
11. Диаграмма Яблонского для молекул.
12. Люминесценция одиночных молекул.
13. Техника и спектроскопия люминесценции одиночных молекул.
14. Виды и механизмы люминесценции кристаллов.
15. Тонкая структура экситона в коллоидных нанокристаллах.
16. Экситонная и рекомбинационная люминесценция коллоидных квантовых точек.
17. Процессы с участием локализованных состояний.
18. Люминесценция гибридных наноструктур.
19. Спектральные и кинетические проявления безызлучательного переноса энергии в коллоидных растворах ассоциатов органических молекул и неорганических нанокристаллов
20. Возможности реализации безызлучательного переноса энергии в гибридных наноструктурах.
21. Индуктивно-резонансный и обменно-резонансный механизмы безызлучательного переноса энергии.
22. Размерный эффект в люминесценции коллоидных нанокристаллов.

Экзамен проводится в письменной форме. Каждый билет включает два теоретических вопроса. Обучающийся готовит ответы на вопросы КИМа и отвечает преподавателю.

Требования к выполнению заданий, шкалы и критерии оценивания

Оценка уровня освоения дисциплины осуществляется по следующим показателям:

- предварительная оценка качества работы на лекционных и практических занятиях;
- полнота ответов на вопросы экзаменационного билета.

Если студент не осваивает дисциплину в установленном программой объеме и в сроки, определенные графиком учебного процесса, он не допускается к промежуточной аттестации по данному виду учебной работы.

Критерии оценки работы обучающихся, которые соотносятся с уровнями сформированности компетенций:

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

Контрольно-измерительный материал

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой оптики и спектроскопии

Овчинников О.В.
подпись, расшифровка подписи

____.____.20__

Направление подготовки / специальность 03.04.02 – Физика

Дисциплина Б1.В.03 Люминесценция в нанопотонике

Форма обучения очная

Вид контроля экзамен

Вид аттестации промежуточная

Контрольно-измерительный материал №1

1. Основные законы молекулярной люминесценции. Спектральная плотность излучения.
2. Мономолекулярная кинетика. Кинетика с учётом вынужденных переходов.

Преподаватель _____
подпись

Смирнов М.С.
расшифровка подписи

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой оптики и спектроскопии

Овчинников О.В.
подпись, расшифровка подписи

____.____.20__

Направление подготовки / специальность 03.04.02 – Физика

Дисциплина Б1.В.03 Люминесценция в нанопотонике

Форма обучения очная

Вид контроля экзамен

Вид аттестации промежуточная

Контрольно-измерительный материал №2

1. Среднее время затухания люминесценции и среднее время жизни возбуждённого состояния.
2. Размерный эффект в люминесценции коллоидных нанокристаллов.

Преподаватель _____
подпись

Смирнов М.С.
расшифровка подписи