

**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

21.06.2023 г.

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.В.03 Фотоника молекул и кристаллов

Код и наименование дисциплины в соответствии с Учебным планом

1. Шифр и наименование направления подготовки / специальности:  
\_\_\_\_\_ 12.04.03 – Фотоника и оптоинформатика
2. Профиль подготовки / специализация: Перспективные материалы и устройства фотоники
3. Квалификация (степень) выпускника: высшее образование (магистр)
4. Форма обучения: \_\_\_\_\_ очная
5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины:  
\_\_\_\_\_ кафедра оптики и спектроскопии
6. Составители программы: \_\_\_\_\_ Смирнов Михаил Сергеевич  
(ФИО, ученая степень, ученое звание)  
\_\_\_\_\_ доктор физико-математических наук, доцент
7. Рекомендована: НМС физического ф-та ВГУ протокол № 6 от 20.06.2023  
(наименование рекомендующей структуры, дата, номер протокола)
8. Учебный год: 2023/2024 Семестр(ы): 1

### 9. Цели и задачи учебной дисциплины:

**Целями освоения учебной дисциплины являются:** познакомить студентов, обучающихся по программе "Перспективные материалы и устройства фотоники" с процессами взаимодействия света с молекулами, твердыми телами и

наноструктурами, вызывающими протекание разнообразных фотохимических реакций, окислительно-восстановительных и фотокаталитических процессов, включая проблему спектральной сенсбилизации полупроводников и наноструктур.

**Задачи учебной дисциплины:**

- обеспечить умение применять, знания, полученные при изучении базовых физических дисциплин в междисциплинарных областях;
- изучить с физическое основы современных фотонных технологий.

**10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:** часть, формируемая участниками образовательных отношений, дисциплины по выбору (Б1.В.03), 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	ПК-2.1	Формулирует задачи для выявления принципов и путей создания перспективных материалов, моделирует процессы в устройствах фотоники	знать: методики экспериментального исследования перспективных материалов и моделирования процессов в устройствах фотоники уметь: экспериментально исследовать перспективные материалы и моделировать процессы в устройствах фотоники
		ПК-2.2	Осуществляет подбор оборудования и комплектующих необходимых для проведения исследований, разрабатывает методики оптических и фотонных исследований	владеть: современными методами и подходами к экспериментальному исследованию перспективных материалов и моделированию процессов в устройствах фотоники

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

**Форма промежуточной аттестации зачет**

**13 Виды учебной работы**

Вид учебной работы	Трудоемкость			
	Всего	По семестрам		
		1		
Аудиторные занятия	30	30		
в том числе:	лекции	30	30	

	практические		
	лабораторные		
Самостоятельная работа		78	78
в том числе: курсовая работа (проект)			
Форма промежуточной аттестации (зачет)			
Итого:		108	108

### 13.1 Содержание разделов дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины
1.	Введение. Строение молекул красителей, понятие хромофор, ауксохром	Введение. Строение молекул красителей, понятие хромофор, ауксохром.
2.	Уравнение Шрёдингера для молекулы, адиабатическое приближение.	Уравнение Шрёдингера для молекулы, адиабатическое приближение. Электронно-колебательно-вращательные уровни энергии молекулы. Неадиабатическое слагаемое.
3.	Разрешенные и запрещенные переходы в молекулах	Вероятности оптических переходов для многоатомных молекул. Принцип Франка Кондона. Запрещенные переходы в молекулах. Приближение Герцберга Теллера.
4.	Строение молекул красителей	Валентные структуры молекул красителей. Строение электронной оболочки, понятие о $\pi$ -, $\sigma$ - и $n$ - орбиталях. Мультиплетность электронных молекулярных орбиталей. Энергетика молекулярных орбиталей. Электронные спектры многоатомных молекул и их интерпретация.
5.	Закономерности флуоресценции	Закономерности флуоресценции. Статистические законы поглощения и испускания излучения молекулами красителей. Длительность возбуждённого состояния.
6.	Безызлучательное рассеяние энергии возбуждения.	Безызлучательные процессы в молекулах. Безызлучательный перенос энергии электронного возбуждения. Конверсия в метастабильное состояние. Правило Каша.
7.	Влияние среды на положение полосы поглощения красителя.	Влияние среды на положение полосы поглощения красителя. Структура полосы поглощения, таутомерия, изомерия структуры, $H$ и $J$ - агрегация молекул красителей.
8.	Фотохимические реакции.	Фотохимические реакции. Законы Фотохимии. Фотораспад, фотоперегруппировка, фотоприсоединение, фотоперенос электрона, фотосенсибилизация.
9.	Фотокаталитические реакции	Фотокаталитические реакции
10.	Уравнение Шрёдингера для кристаллов, сравнение с молекулами	Уравнение Шрёдингера для кристаллов, сравнение с молекулами. Блоховская волновая функция. Собственное поглощение света кристаллами.
11.	Элементарные представления о люминесценции и фотохимических реакциях в кристаллах.	Фотоперенос носителей заряда. Безызлучательный перенос энергии электронного возбуждения. Безызлучательные процессы.
12.	Стимулированная люминесценция	Принцип метода фотостимулированной вспышки люминесценции на основе простейшей модели. Особенности интерпретации результатов ФСВЛ.

### 13.2. Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Виды занятий (часов)				
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	Всего
1.	Введение. Строение молекул красителей, понятие хромофор, аухрохром	2	-	-	5	8
2.	Уравнение Шрёдингера для молекулы, адиабатическое приближение.	2	-	-	6	9
3.	Разрешенные и запрещенные переходы в молекулах	2	-	-	5	8
4.	Строение молекул красителей	2	-	-	6	24
5.	Закономерности флуоресценции	2	-	-	7	25
6.	Безызлучательное рассеяние энергии возбуждения.	3	-	-	6	9
7.	Влияние среды на положение полосы поглощения красителя.	3	-	-	8	12
8.	Фотохимические реакции.	3	-	-	7	11
9.	Фотокаталитические реакции	3	-	-	8	11
10.	Уравнение Шрёдингера для кристаллов, сравнение с молекулами	3	-	-	8	12
11.	Элементарные представления о люминесценции и фотохимических реакциях в кристаллах.	3	-	-	6	9
12.	Стимулированная люминесценция	2	-	-	6	9
	<b>Итого</b>	<b>30</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>78</b>	<b>108</b>

#### 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 практическим 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. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

(список оформляется в соответствии с требованиями ГОС и ФГОС, используется общая сквозная нумерация для всех видов источников)

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	Филяк М. М. Основные физические процессы в проводниках, полупроводниках и диэлектриках : учебное пособие / М. М. Филяк. – Оренбург : Оренбургский государственный университет, 2015. – 134 с. : граф., ил. – Режим доступа: по подписке. – URL: <a href="https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=438992">https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=438992</a> . – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-7410-1188-1. – Текст : электронный.

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
2	Физика соединений A <sup>II</sup> B <sup>IV</sup> / [Л.А. Бовина, М.С. Бродин, М.Я. Валах и др.] ; под ред. А.Н. Георгобиани, М.К. Шейнкмана .— Москва. : Наука, 1986 .— 319 с.
3	Теренин А.Н. Фотоника молекул красителей и родственных органических соединений /А.Н. Теренин. Л. Наука. 1967. - 616 с.
4	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.
5	Клюев В.Г. Фотостимулированные явления в твердых телах / В.Г. Клюев. – Воронеж.: ВГУ, 2008. – 46 с.
6	Блейкмор, Дж. Физика твердого тела / Дж. Блейкмор ; Пер. с англ. под ред. Д. Г. Андрианова, В. И. Фистуля .— Москва. : Мир, 1988 .— 608 с.
7	Грибковский В.П. Теория поглощения и испускания света в полупроводниках / В.П. Грибковский .— Минск : Наука и техника, 1975 .— 463 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	Поисковая система <a href="http://e-library.ru">e-library.ru</a>
10	Поисковая система <a href="http://google.ru">google.ru</a>
11	Архив научных журналов <a href="http://arch.neicon.ru/">http://arch.neicon.ru/</a>
12	Единое окно доступа к образовательным ресурсам. Библиотека <a href="http://window.edu.ru/">http://window.edu.ru/</a>
13	Электронный каталог ЗНБ ВГУ <a href="https://www.lib.vsu.ru/">https://www.lib.vsu.ru/</a>
14	Электронная библиотека Попечительского совета механико-математического факультета МГУ <a href="http://lib.mexmat.ru">lib.mexmat.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	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 практического занятия - решение задач или семинар: 1. Проверка готовности студентов к занятию - их теоретическая готовность к выполнению заданий. 2. Основная часть занятия, где студенты выполняют задания, а контроль их исполнения (полнота и качество) и помощь осуществляет преподаватель. 3. Заключительная часть - подведение преподавателем итогов занятия, получение студентами заданий на самостоятельную работу.

Содержание семинара, формируется так, чтобы оно способствовало поиску дополнительных источников знаний и развитию творческого мышления, умению находить пути решения и ответы на проблемные вопросы. По некоторым темам в задание можно включать подготовку 1-2 докладов (сообщений) по наиболее сложным вопросам, заблаговременно назначив докладчиков.

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 <a href="http://arch.neicon.ru/">http://arch.neicon.ru/</a>
4	Единое окно доступа к образовательным ресурсам. Библиотека <a href="http://window.edu.ru/">http://window.edu.ru/</a>
5	Электронный каталог ЗНБ ВГУ <a href="https://www.lib.vsu.ru/">https://www.lib.vsu.ru/</a>
6	Электронная библиотека Попечительского совета механико-математического факультета МГУ <a href="http://lib.mexmat.ru">lib.mexmat.ru</a>

## 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 RUS Upgrd OLP NL Acdmc), Microsoft Office (OfficeSTD 2013 RUS OLP NL Acdmc). 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.

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

## 19. Фонд оценочных средств:

### 19.1 Перечень компетенций с указанием этапов формирования и планируемых результатов обучения

Код и содержание компетенции (или ее части)	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенции посредством формирования знаний, умений, навыков)	Этапы формирования компетенции (разделы (темы) дисциплины или модуля и их наименование)	ФОС (средства оценивания)
ПК-2 Способен экспериментально исследовать перспективные материалы и моделировать процессы в устройствах фотоники	знать: методики экспериментального исследования перспективных материалов и моделирования процессов в устройствах фотоники уметь: экспериментально исследовать перспективные материалы и моделировать процессы в устройствах фотоники владеть: современными методами и подходами к экспериментальному исследованию перспективных материалов и моделированию процессов в устройствах фотоники	Разделы 1-12	Устный опрос.
<b>Промежуточная аттестация (зачет)</b>			КИМ

### 19.2 Описание критериев и шкалы оценивания компетенций (результатов обучения) при промежуточной аттестации

Для оценивания результатов обучения на экзамене используются следующие показатели (ЗУНЫ из 19.1):

1. знание учебного материала, владение понятийным аппаратом и теоретическими основами дисциплины;
2. умение связывать теорию с практикой;
3. умение описывать основные характеристики, методики контроля и допуски на параметры оптических деталей;
- 4) владение знаниями о современных методиках контроля параметров оптических деталей.

### Соотношение показателей, критериев и шкалы оценивания результатов обучения.

Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

#### **Зачет**

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
<i>Полный ответ на вопрос контрольно-измерительного материала во время зачета. Ответы на дополнительные вопросы.</i>	<i>Повышенный базовый и пороговый уровни</i>	<i>зачтено</i>
<i>Систематические пропуски занятий без уважительной причины. Неумение давать ответы на вопросы</i>	-	<i>не зачтено</i>

### 19.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности,

## характеризующие этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы

### 19.3.1 Перечень вопросов к зачету:

1. Уравнение Шрёдингера для молекулы, адиабатическое приближение.
2. Электронно-колебательно-вращательные уровни энергии молекулы. Неадиабатическое слагаемое.
3. Вероятности оптических переходов для многоатомных молекул
4. Принцип Франка - Кондона.
5. Запрещенные переходы в молекулах. Приближение Герцберга-Теллера.
6. Валентные структуры молекул красителей.
7. Строение электронной оболочки, понятие о  $\pi$ -,  $\sigma$ - и  $n$ - орбиталях.
8. Мультиплетность электронных молекулярных орбиталей.
9. Энергетика молекулярных орбиталей.
10. Электронные спектры многоатомных молекул и их интерпретация.
11. Закономерности флуоресценции.
12. Статистические законы поглощения и испускания излучения молекулами красителей.
13. Длительность возбуждённого состояния.
14. Безызлучательные процессы в молекулах.
15. Безызлучательный перенос энергии электронного возбуждения возбуждения.
16. Конверсия в метастабильное состояние.
17. Правило Каша.
18. Влияние среды на положение полосы поглощения красителя.
19. Структура полосы поглощения, таутомерия, изомерия структуры, H и J - агрегация молекул красителей.
20. Фотохимические реакции.
21. Законы Фотохимии.
22. Фотораспад, фотоперегруппировка.
23. Фотоприсоединение.
24. Фотоперенос электрона, фотосенсибилизация.
25. Фотокаталитические реакции.
26. Уравнение Шрёдингера для кристаллов, сравнение с молекулами.
27. Блоховская волновая функция.
28. Собственное поглощение света кристаллами.
29. Фотоперенос носителей заряда. Безызлучательный перенос энергии электронного возбуждения.
30. Безызлучательные процессы в кристаллах.
31. Метод фотостимулированной вспышки люминесценции на основе простейшей модели.

## 19.3.2. Контрольно-измерительный материал

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой оптики и спектроскопии

\_\_\_\_\_ Овчинников О.В.  
*подпись, расшифровка подписи*

\_\_\_.\_\_\_.20\_\_

Направление подготовки / специальность 12.04.03 – Фотоника и оптоинформатика  
Дисциплина Б1.В.03 Фотоника молекул и кристаллов  
Форма обучения очная  
Вид контроля зачет  
Вид аттестации промежуточная

### Контрольно-измерительный материал №1

1. Строение молекул красителей, понятие хромофоров, ауксохром.
2. Энергетика молекулярных орбиталей. Закономерности флуоресценции.

Преподаватель \_\_\_\_\_ Смирнов М.С.  
*подпись расшифровка подписи*

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой оптики и спектроскопии

\_\_\_\_\_ Овчинников О.В.  
*подпись, расшифровка подписи*

\_\_\_.\_\_\_.20\_\_

Направление подготовки / специальность 12.04.03 – Фотоника и оптоинформатика  
Дисциплина Б1.В.03 Фотоника молекул и кристаллов  
Форма обучения очная  
Вид контроля зачет  
Вид аттестации промежуточная

### Контрольно-измерительный материал №2

1. Правила отбора для момента количества движения и его проекции при оптических переходах.
2. Фотохимические реакции. Законы Фотохимии.

Преподаватель \_\_\_\_\_ Смирнов М.С.  
*подпись расшифровка подписи*