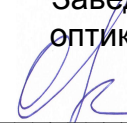


МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой  
оптики и спектроскопии

  
подпись

Овчинников О.В.

14.06.2024 г.

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.В.ДВ.01.01 Нанопотоника

1. Шифр и наименование направления подготовки / специальности:

12.04.03 Фотоника и оптоинформатика

2. Профиль подготовки/специализация: Материалы и устройства фотоники  
и оптоинформатики

3. Квалификация выпускника: высшее образование (магистр)

4. Форма обучения: очная

5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины:

кафедра оптики и спектроскопии

6. Составители программы: Овчинников О. В., д. ф.-м. н., профессор

7. Рекомендована: НМС физического ф-та ВГУ протокол № 6 от 13.06.2024

(наименование рекомендующей структуры, дата, номер протокола)

8. Учебный год: 2024/2025

Семестр(ы): 2

## 9. Цели и задачи учебной дисциплины

Целями освоения учебной дисциплины являются: формирование профессиональной компетенции в области нанофотоники. Курс направлен на рассмотрение сути оптических явлений, происходящих в нанометровых масштабах, то есть, вблизи границ, определяемых дифракционным пределом света, либо за ними. Основные положения нанооптики представлены разделами, рассматриваемыми в теории поля, теории твердого тела, спектроскопии, фотонике, квантовой оптике и т.д. Обсуждается теоретический аппарат, необходимый для исследования взаимодействия света и вещества в нанометровых масштабах вблизи и за дифракционным пределом. Особое место занимает рассмотрение теории и применений плазмон-поляритонов, поверхностных и локализованных – особых элементарных возбуждений, состоящих из света и вещества, обеспечивающих субволновую компрессию света. Отдельное внимание уделяется различным плазмонным усовершенствованиям элементов фотонных схем, позволяющим добиться как высокой миниатюризации, так и повышенной скорости обработки сигналов.

*Задачи учебной дисциплины:*

- изучить основы нанооптики;
- изучить приемы локализации света, основы наноплазмоники;
- изучить теоретические основы технологий ближнего поля;
- изучить микроскопию ближнего поля.

**10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:** относится к вариативной части блока Б1, дисциплины по выбору

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

Код	Название компетенции	Код(ы)	Индикатор(ы)	Планируемые результаты обучения
ПК-1	Способен анализировать научно-технические проблемы и ставить цели и задач проводимых научных исследований на основе подбора и изучения литературных и патентных источников	ПК-1.1	Составляет план поиска научно-технической информации по созданию материалов и разработке устройств фотоники и оптоинформатики	Знать: основы нанооптики, приемы локализации света, основы наноплазмоники, основы технологий ближнего поля, микроскопия ближнего поля Уметь: проводить поиск научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по созданию материалов и разработке устройств фотоники и оптоинформатики Владеть: навыками анализа научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта научно-технической информации для создания материалов и разработки устройств фотоники и оптоинформатики
		ПК-1.2	Проводит поиск и анализ научно-технической информации для создания материалов и разработки устройств фотоники и оптоинформатики	

**12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час. — 3 з.е. / 108 ч.**

**Форма промежуточной аттестации: зачет с оценкой**

### 13. Трудоемкость по видам учебной работы

Вид учебной работы	Трудоемкость	
	Всего	По семестрам
		№ 2
Аудиторные занятия	32	32
в том числе:	лекции	32
	практические	
	лабораторные	
Самостоятельная работа	76	76
в том числе: курсовая работа (проект)		
Форма промежуточной аттестации		<i>Зачет с оценкой</i>
Итого:	108	108

#### 13.1. Содержание дисциплины

N п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК *
<b>Лекции</b>			
1	<b>Основы нанооптики</b>	Взаимодействие света с материей и модель Максвелла-Лоренца. Понятие сплошной среды. Уравнения Максвелла. Электромагнитные волны. Физический смысл комплексного волнового вектора. Теоретические ограничения классической оптики, дифракционный предел. Критерий разрешения Рэля. Свойства ограниченных полей. Оптика интерфейсов и уравнения Френеля. Полное внутреннее отражение. Эванесцентные волны.	
2	<b>Приемы локализации света. Наноплазмоника.</b>	Поверхностные электромагнитные волны в оптике. Поверхностный плазмонный резонанс. Дисперсионная зависимость поверхностной волны. Экспериментальное обнаружение поверхностных электромагнитных волн. Оптическая схема возбуждения ПЭВ и превращения ее в объемную с помощью НПВО. Оптическая схема возбуждения ПЭВ и превращения ее в объемную волну с помощью дифракционной решетки. Отражение и преломление ПЭВ, а также превращение её в объемную волну на крае. Локализованный плазмон. Оптика плазмонных наночастиц. Теория Ми. Оптические резонансы Ми и их интерпретация. Динамика локализованных плазмонов.	
3	<b>Основы технологий ближнего поля</b>	Теоретические основы туннелирования света. Корпускулярно-волновой дуализм. Уравнение Шредингера. Волновая функция. Туннельный эффект. Прохождение света через малую диафрагму (задача Бете). Туннелирование фотонов.	

		Наноразмерные световые поля. Поле диполя. Напряженность электрического поля в ближней зоне. Примеры нанополей. Преодоление дифракционного предела пространственного разрешения в микроскопии. Нановолноводы
4	<b>Микроскопия ближнего поля</b>	Принципиальная схема микроскопа ближнего поля. Зонды в ближнепольной оптике. Схема волоконно-оптического ближнепольного зонда. Структура поля в волноводах. Отсечка. Числовая апертура и угол приема оптического волокна. Применение ближнего поля для формирования оптического изображения. Схематические изображения оптических антенн. Применение излучающих и принимающих свет оптических антенн в ближнепольной микроскопии. Ближнее поле и его возможности для повышения информативной емкости носителей информации.

### 13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (количество часов)					Всего
		Лекции	Практ.	Лаб.	Самостоятельная работа	Контроль	
1.	Основы нанооптики	8			18		26
2.	Приемы локализации света. Наноплазмоника.	8			20		28
3.	Основы технологий ближнего поля	8			20		28
4.	Микроскопия ближнего поля	8			18		26
	Итого:	32			76		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) Самостоятельная работа студента. Изучение учебной, научной и методической литературы, материалов периодических изданий с привлечением электронных средств научной информации.
- 3) 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** (список литературы оформляется в соответствии с требованиями ГОСТ и используется общая сквозная нумерация для всех видов источников)

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	Игнатов, А. Н. Оптоэлектроника и нанофотоника : учебное пособие / А. Н. Игнатов. — 4-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2020. — 596 с. — ISBN 978-5-8114-5149-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/133479">https://e.lanbook.com/book/133479</a> . — Режим доступа: для авториз. пользователей.
2	Морозов В.Г. Физика низкоразмерных структур [Электронный ресурс]: Учебное пособие / Морозов В.Г. — М.: МИРЭА – Российский технологический университет, 2019. — <a href="https://fks.mirea.ru/wp-content/uploads/items/ФНС/Физика-низкоразмерных-структур.pdf">https://fks.mirea.ru/wp-content/uploads/items/ФНС/Физика-низкоразмерных-структур.pdf</a>

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
3	Климов, В. В. Наноплазмоника / В. В. Климов. — Москва : Физматлит, 2010. — 479 с. — Режим доступа: по подписке. — URL: <a href="https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=69490">https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=69490</a> (дата обращения: 02.11.2021). — ISBN 978-5-9221-1205-5. — Текст : электронный.
4	Навотный Л. Основы нанооптики / Л. Навотный. - М. : Физматлит, 2009. - 482 с.
5	Климов В.В. Наноплазмоника / В.В. Климов. — М. : Физматлит, 2009. — 480 с.
6	Ландау Л.Д. Квантовая механика / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. — М. : Физматлит, 2001. — 803 с.
7	Борен К. Поглощение и рассеяние света малыми частицами / К. Борен, Д. Хафмен ; Пер. с англ. З.И. Фейзулина и др.; с предисл. В. И. Татарского. - М. : Мир, 1986. - 660 с.
8	Андо Т. Электронные свойства двумерных систем / Т. Андо, А. Фаулер, Ф. Стерн. - М. : Мир, 1985. - 416 с.
9	Пул Ч. Нанотехнологии / Ч. Пул, Ф. Оуенс. - М. : Техносфера, 2004. - 328 с.

в) информационные электронно-образовательные ресурсы (официальные ресурсы интернет)\*:

№ п/п	Ресурс
6	Электронно-библиотечная система BOOK.ru <a href="https://www.book.ru/">https://www.book.ru/</a>
7	ЭБС «ПЛАТФОРМА ЮРАЙТ» – <a href="https://urait.ru/">https://urait.ru/</a>
8	ЭБС Лань – <a href="https://e.lanbook.com/">https://e.lanbook.com/</a>
9	ЭБС «Электронная библиотека технического ВУЗа» («ЭБС «Консультант студента») – <a href="http://www.studentlibrary.ru/">http://www.studentlibrary.ru/</a>
10	ЭБС «Университетская библиотека Online» – <a href="https://biblioclub.ru/">https://biblioclub.ru/</a>
11	Национальный цифровой ресурс "РУКОНТ" – <a href="http://rucont.ru">http://rucont.ru</a>

**16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы** (учебно-методические рекомендации, пособия, задачки, методические указания по выполнению практических (контрольных), курсовых работ и др.)

№ п/п	Источник
1.	Методические рекомендации по выполнению самостоятельной работы обучающимися в магистратуре по направлению "Физика" [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие : [для студ. направления 03.03.02 Физика] / Сост.: Л.Ю. Леонова, И.Г. Гревцева ; Воронеж. гос. ун-т. — Электрон. текстовые дан. — Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2021.

**17. Образовательные технологии, используемые при реализации учебной дисциплины, включая дистанционные образовательные технологии (ДОТ), электронное обучение (ЭО), смешанное обучение):**

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:**

Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа (ауд. 428): специализированная мебель, ноутбук, мультимедиа-проектор, экран. WinPro 8, OfficeStandard 2019, «Антиплагиат.ВУЗ» 394018, г.Воронеж, площадь Университетская, д.1, пом.1, этаж – 4, пом. 126

Учебная аудитория (ауд. 329): специализированная мебель 394018, г.Воронеж, площадь Университетская, д.1, пом.1, этаж – 3, пом. 136

Учебная аудитория (ауд. 129): специализированная мебель 394018, г.Воронеж, площадь Университетская, д.1, пом.1, этаж – 1, пом. 141

## 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.	Основы нанооптики	ПК –1	ПК-1.1 ПК-1.2	<i>Вопросы</i>
2.	Приемы локализации света. Наноплазмоника.	ПК –1	ПК-1.1 ПК-1.2	<i>Вопросы</i>
3.	Основы технологий ближнего поля	ПК –1	ПК-1.1 ПК-1.2	<i>Вопросы</i>
4.	Микроскопия ближнего поля	ПК-1	ПК-1.1 ПК-1.2	<i>Вопросы</i>
Промежуточная аттестация форма контроля – зачет с оценкой				<i>Вопросы</i>

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

### 20.1. Текущий контроль успеваемости

Контроль успеваемости по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств: вопросы для контроля освоения дисциплины, которые формулируются преподавателем по окончании занятия для закрепления пройденного материала или для подготовки к последующим занятиям. На следующем занятии преподаватель осуществляет устный или письменный опрос. Положительная оценка может быть выставлена по результатам ответа.

Пример вопросов (заданий) для текущего контроля усвоения дисциплины:

1. Модель Максвелла-Лоренца.
2. Понятие сплошной среды.
3. Теоретические ограничения классической оптики, дифракционный предел.
5. Критерий разрешения Рэлея.
6. Свойства ограниченных полей.
7. Оптика интерфейсов и уравнения Френеля.
8. Полное внутреннее отражение.
9. Эванесцентные волны.
10. Поверхностные электромагнитные волны в оптике.
11. Поверхностный плазмонный резонанс.
12. Дисперсионная зависимость поверхностной волны.
13. Экспериментальное обнаружение поверхностных электромагнитных волн.
14. Оптическая схема возбуждения ПЭВ и превращения ее в объемную с помощью НПВО.
15. Оптическая схема возбуждения ПЭВ и превращения ее в объемную волну с помощью дифракционной решетки.
16. Отражение и преломление ПЭВ, а также превращение её в объемную волну на крае.
17. Оптика плазмонных наночастиц.
18. Оптические резонансы Ми и их интерпретация.
19. Динамика локализованных плазмонов.
20. Теоретические основы туннелирования света.
21. Прохождение света через малую диафрагму (задача Бете). Туннелирование фотонов.
22. Наноразмерные световые поля.
23. Преодоление дифракционного предела пространственного разрешения в микроскопии.
29. Нановолноводы.
30. Принципиальная схема микроскопа ближнего поля.

## 20.2. Промежуточная аттестация

Оценка на зачете может быть выставлена по результатам текущего контроля успеваемости при выполнении всех следующих условий обучающимся:

- посещение 80% и более лекционных занятий;
- успешно пройдена текущая аттестация (положительная оценка по результатам ответов на вопросы)

В случае невыполнения обозначенных условий, студент вправе сдавать зачет в форме устного ответа на вопрос. На подготовку ответа выделяется 45 мин, за это время студент готовит опорный конспект ответа.

Перечень вопросов к зачету с оценкой:

1. Взаимодействие света с материей и модель Максвелла-Лоренца. Понятие сплошной среды.
2. Уравнения Максвелла. Электромагнитные волны.
3. Физический смысл комплексного волнового вектора.
4. Теоретические ограничения классической оптики, дифракционный предел.
5. Критерий разрешения Рэлея.
6. Свойства ограниченных полей.
7. Оптика интерфейсов и уравнения Френеля.
8. Полное внутреннее отражение.
9. Эванесцентные волны.
10. Поверхностные электромагнитные волны в оптике.
11. Поверхностный плазмонный резонанс.
12. Дисперсионная зависимость поверхностной волны.
13. Экспериментальное обнаружение поверхностных электромагнитных волн.
14. Оптическая схема возбуждения ПЭВ и превращения ее в объемную с помощью НПВО.
15. Оптическая схема возбуждения ПЭВ и превращения ее в объемную волну с помощью дифракционной решетки.
16. Отражение и преломление ПЭВ, а также превращение её в объемную волну на крае.
17. Локализованный плазмон. Оптика плазмонных наночастиц.
18. Теория Ми. Оптические резонансы Ми и их интерпретация.
19. Динамика локализованных плазмонов.
20. Теоретические основы туннелирования света.
21. Корпускулярно-волновой дуализм.
22. Уравнение Шредингера. Волновая функция.
23. Туннельный эффект.
24. Прохождение света через малую диафрагму (задача Бете). Туннелирование фотонов.
25. Наноразмерные световые поля.
26. Поле диполя. Напряженность электрического поля в ближней зоне.
27. Примеры нанополей.
28. Преодоление дифракционного предела пространственного разрешения в микроскопии.
29. Нановолноводы.
30. Принципиальная схема микроскопа ближнего поля.
31. Зонды в ближнепольной оптике. Схема волоконно-оптического ближнепольного зонда.
32. Структура поля в волноводах. Отсечка.
33. Числовая апертура и угол приема оптического волокна.
34. Применение ближнего поля для формирования оптического изображения.
35. Схематические изображения оптических антенн.
36. Применение излучающих и принимающих свет оптических антенн в ближнепольной микроскопии.
37. Ближнее поле и его возможности для повышения информативной емкости носителей информации

Соотношение показателей, критериев и шкалы оценивания результатов обучения.

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
<i>Посещение лекционных занятий. Ответ на вопрос во время зачета. Ответы на дополнительные вопросы. Обучающийся в полной мере владеет понятийным аппаратом и теоретическими основами дисциплины, способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований.</i>	<i>Повышенный уровень</i>	<i>Отлично</i>
<i>Ответ на вопрос 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 вопрос 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 вопрос не соответствует любым трем(четырем) из перечисленных показателей. Обучающийся демонстрирует отрывочные, фрагментарные знания, допускает грубые ошибки.</i>	–	<i>Неудовлетворительно</i>