

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

  
подпись  
Овчинников О.В.

14.06.2024 г.

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.В.ДВ.02.01 Электрооптические и пассивные системы управления  
лазерным излучением

1. Код и наименование направления подготовки: 12.04.03 Фотоника и оптоинформатика
2. Профиль подготовки: Материалы и устройства фотоники и оптоинформатики
3. Квалификация выпускника: магистр
4. Форма обучения: очная
5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины: кафедра оптики и спектроскопии
6. Составители программы: Овчинников 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): 1

## **9. Цели и задачи учебной дисциплины**

**Целями освоения учебной дисциплины являются:** формирование профессиональной компетенции в области электрооптические и пассивные системы управления лазерным излучением.

### **Задачи учебной дисциплины:**

- изучить физические основы техники модуляции для передачи данных
- рассмотреть полупроводниковые модуляторы
- изучить способы внутренней модуляции лазерного излучения
- рассмотреть способы преобразование лазерного пучка и способы ограничения мощности лазерного излучения.

**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-2	Способен экспериментально исследовать перспективные материалы и моделировать процессы в устройствах фотоники	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	Знать: физические основы техники модуляции для передачи данных; способы модуляции и преобразования лазерного излучения  Уметь: проводить поиск научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта в области электрооптические и пассивные системы управления лазерным излучением  Владеть: навыками анализа научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта в области электрооптические и пассивные системы управления лазерным излучением
		ПК-2.2	Осуществляет подбор оборудования и комплектующих необходимых для проведения исследований, разрабатывает методики оптических и фотонных исследований	
		ПК-2.3	Проводит анализ полученных результатов моделирования работы устройств фотоники и оптоинформатики на основе физических процессов и явлений	

**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	
		№ 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 с оценкой	
Итого:	144	144	

#### 13.1. Содержание дисциплины

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК *
<b>Лекции</b>			
1.	<b>Модуляторы оптического излучения.</b>	<p><b>1.1 Физические основы техники модуляции для передачи данных</b>  <b>1.2 Фазовые электрооптические модуляторы.</b></p> <p>Оптические свойства анизотропной среды. Феноменологическое описание электрооптического эффекта. Фазовая модуляция оптического излучения в линейных электрооптических средах. Многоэлементные фазовые модуляторы. Модуляторы бегущей волны.</p> <p><b>1.3 Амплитудные электрооптические модуляторы.</b> Принцип действия поляризационных модуляторов. Основные схемы поляризационных электрооптических модуляторов. Модуляторы с циркулярными поляризаторами. Амплитудные многоэлементные модуляторы. Жидкостные модуляторы Керра (ячейки Керра). Модуляторы, использующие эффект Керра в твердом теле.</p> <p><b>1.4 Интерференционные модуляторы.</b> Преобразование фазовой модуляции в амплитудную. Двухлучевые интерференционные модуляторы. Модуляторы на основе интерферометров.</p> <p><b>1.5. Магнитооптические модуляторы.</b> Оптическая активность. Эффект Фарадея. Фарадеевский низкочастотный модулятор. Модуляция вблизи полосы поглощения. Резонансная СВЧ-модуляция. Магнитооптическая модуляция в полупроводниках</p>	
2	<b>Полупроводниковые модуляторы</b>	Электрооптический модулятор на $p-n$ -переходе. Модуляция при смещении края полосы поглощения. Модуляторы, использующие поглощение света свободными носителями. Модуляция излучения с помощью обратно смещенных диодов.	+
3	<b>Внутренняя модуляция лазерного излучения.</b>	Модуляция лазерного излучения путем управления коэффициентом усиления активной среды. Частотная модуляция излучения лазера при помощи эффектов Зеемана и Штарка. Частотная модуляция излучения	

		лазера при изменении параметров оптического резонатора. Модуляция лазерного излучения при помощи управления обратной связью. Модуляция излучения лазера при помощи изменения добротности оптического резонатора. Внутренняя модуляция полупроводниковых лазеров.	
4	<b>Преобразование лазерного пучка: распространение, усиление, преобразование частоты, сжатие импульса.</b>	Преобразование в пространстве: распространение гауссова пучка. Преобразование амплитуды: лазерное усиление. Преобразование частоты: генерация второй гармоники и параметрическая генерация: Физическая картина (Генерация второй гармоники. Параметрическая генерация); Аналитическое рассмотрение (Параметрическая генерация. Генерация второй гармоники). Временное преобразование: сжатие импульса.	
5	<b>Способы ограничения мощности лазерного излучения.</b>	Активные ограничители мощности. Пассивные ограничители мощности и механизмы их работы (Обратное насыщающееся поглощение, двухфотонное поглощение, поглощение свободными носителями, нелинейная рефракция, индуцированное рассеяние. Фоторефракция).	

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

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (количество часов)					
		Лекции	Практ.	Лаб.	Самостоятельная работа	Контроль	Всего
1.	Модуляторы оптического излучения	10			20		30
2.	Полупроводниковые модуляторы	4			16		20
3.	Внутренняя модуляция лазерного излучения	6			16		22
4.	Преобразование лазерного пучка: распространение, усиление, преобразование частоты, сжатие импульса	6			16		22
5.	Способы ограничения мощности лазерного излучения	4			10		14
Итого:		30			78		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	Бакланов, Е. В. Основы лазерной физики : учебник / Е. В. Бакланов. — Новосибирск : НГТУ, 2017. — 131 с. — ISBN 978-5-7782-3368-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/118455">https://e.lanbook.com/book/118455</a> — Режим доступа: для авториз. пользователей.
2	Щапова, И. А. Основы оптоэлектроники и лазерной техники : учебное пособие / И. А. Щапова. — 3-е изд., стереотип. — Москва : ФЛИНТА, 2017. — 235 с. — Режим доступа: по подписке. — URL: <a href="https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=103827">https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=103827</a> — Библиогр. в кн. — ISBN 978-5-9765-0040-4. — Текст : электронный.

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
3	Григорьянц, А.Г. Технологические процессы лазерной обработки [Текст] / А.Г. Григорьянц, И.Н. Шиганов, А.И. Мисюров; под ред. А.Г. Григорьянца — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. — 664 с.
4	Голубев, В. С. Физические основы технологических лазеров : учебное пособие : [16+] / В. С. Голубев, Ф. В. Лебедев. — 3-е изд., стер. — Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2021. — 189 с. : табл., ил. — (Лазерная техника и технология : в 7 кн., кн. 1 / под ред. А. Г. Григорьянца). — Режим доступа: по подписке. — URL: <a href="https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=612976">https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=612976</a> — ISBN 978-5-4499-2052-2 (Кн. 1). — ISBN 978-5-4499-2058-4. — DOI 10.23681/612976. — Текст : электронный.
5	Звелто, О. Принципы лазеров = Principles of lasers / Орацио Звелто ; пер. с англ. Д.Н. Козлова [и др.] ; под науч. ред. Т. А. Шмаонова. — изд. 4-е. — СПб ; М. ; Краснодар : Лань, 2008. — 719 с. : ил. — (Учебные пособия для вузов. Специальная литература) — Библиогр. в конце гл. — Предм. указ...: с.703-712. — ISBN 978-5-8114-0844-3.

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

№ п/п	Ресурс
8	ЭБС Лань – <a href="https://e.lanbook.com/">https://e.lanbook.com/</a>
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, задачники, методические указания по выполнению практических (контрольных), курсовых работ и др.)

№ п/п	Источник
1.	Моделирование оптических систем оптоэлектронных приборов: методические указания к выполнению лабораторных работ : учебное пособие : [16+] / С. Н. Липницкая, А. Е. Романов, Д. А. Бауман, В. Е. Бугров ; Университет ИТМО. — Санкт-Петербург : Университет ИТМО, 2019. — 61 с. : ил. — Режим доступа: по подписке. — URL: <a href="https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=564017">https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=564017</a> (дата обращения: 09.11.2021). — Библиогр. в кн. — Текст : электронный.

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

В учебном процессе используются традиционные и дистанционные образовательные технологии. По образовательным формам: лекционные и лабораторные занятия. Преобладающими методами и приемами 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.

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

## **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.	Модуляторы оптического излучения	ПК –2	ПК-2.1 ПК-2.2 ПК-2.3	Вопросы
2.	Полупроводниковые модуляторы			
3.	Внутренняя модуляция лазерного излучения			
4.	Преобразование лазерного пучка: распространение, усиление, преобразование частоты, сжатие импульса			
5.	Способы ограничения мощности лазерного излучения			
Промежуточная аттестация форма контроля – зачет с оценкой				Вопросы

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

### **20.1. Текущий контроль успеваемости**

Текущая аттестация проводится в форме: устного опроса (индивидуальный опрос). Студент получает два вопроса из списка, время подготовки 40 минут, время ответа не более 10 мин.

Пример вопросов (заданий) для текущего контроля усвоения дисциплины:

1. Назовите оптические свойства анизотропной среды.
2. В чем заключается феноменологический подход к описанию электрооптического эффекта.
  3. Какие среды являются линейными электрооптическими средами?
  4. Приведите примеры модуляторов бегущей волны.
  5. Какие основные схемы поляризационных электрооптических модуляторов вы знаете
  6. Что представляют собой модуляторы с циркулярными поляризаторами?
  7. В чем заключается принцип действия амплитудных многоэлементных модуляторов?
  8. В чем заключается принцип действия интерференционных модуляторов?
  9. В чем заключается принцип действия магнитооптических модуляторов?
  10. Опишите модуляцию излучения с помощью обратно смещенных диодов.
  11. Опишите принцип модуляции лазерного излучения путем управления коэффициентом усиления активной среды.
  12. Как осуществляется частотная модуляция излучения лазера при помощи эффектов Зеемана и Штарка?
  13. Как осуществляется частотная модуляция излучения лазера при изменении параметров оптического резонатора?
  14. Опишите принцип модуляции лазерного излучения при помощи управления обратной связью и при помощи изменения добротности оптического резонатора.
  16. Опишите внутреннюю модуляцию полупроводниковых лазеров.
  12. Как происходит преобразование лазерного пучка: в пространстве, усиление, преобразование частоты, сжатие импульса.
  13. Механизмы работы активных и пассивных ограничителей мощности.

#### **Критерии и шкалы оценивания:**

- 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 КИМ, выставляется оценка по четырехбалльной шкале:

4 балла – «отлично»; 3 балла – «хорошо»; 2 балла – «удовлетворительно»; от 0 до 1 баллов – «неудовлетворительно».

## **20.2. Промежуточная аттестация**

Форма проведения промежуточной аттестации по дисциплине – зачет с оценкой.

Оценка за зачет 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.

Промежуточная аттестация проводится в форме: устного опроса (индивидуальный опрос). Студент получает два вопроса из списка, время подготовки 40 минут, время ответа не более 10 мин.

Перечень вопросов к зачету с оценкой:

1. Оптические свойства анизотропной среды.
2. Феноменологическое описание электрооптического эффекта.
3. Фазовая модуляция оптического излучения в линейных электрооптических средах.

4. Многоэлементные фазовые модуляторы.
5. Модуляторы бегущей волны.
6. Модуляторы с циркулярными поляризаторами.
7. Амплитудные многоэлементные модуляторы.
8. Жидкостные модуляторы Керра (ячейки Керра).
9. Модуляторы, использующие эффект Керра в твердом теле.
10. Двухлучевые интерференционные модуляторы.
11. Модуляторы на основе интерферометров.
12. Эффект Фарадея. Фарадеевский низкочастотный модулятор.
13. Модуляция вблизи полосы поглощения.
14. Резонансная СВЧ-модуляция.
15. Магнитооптическая модуляция в полупроводниках.
16. Электрооптический модулятор на  $p-n$ -переходе.
17. Модуляция при смещении края полосы поглощения.
18. Модуляторы, использующие поглощение света свободными носителями.
19. Модуляция излучения с помощью обратно смещенных диодов.
20. Модуляция лазерного излучения путем управления коэффициентом усиления активной среды.
21. Частотная модуляция излучения лазера при помощи эффектов [Зеемана и Штарка](#).
22. Частотная модуляция излучения лазера при изменении параметров [оптического резонатора](#).
23. Модуляция лазерного излучения при помощи управления обратной [связью](#).
24. Модуляция излучения лазера при помощи изменения добротности оптического резонатора.
25. [Внутренняя модуляция полупроводниковых лазеров](#).
26. Преобразование в пространстве: распространение гауссова пучка.
27. Преобразование амплитуды: лазерное усиление.
28. Преобразование частоты: генерация второй гармоники и параметрическая генерация.
29. Физическая картина (Генерация второй гармоники. Параметрическая генерация);
30. Аналитическое рассмотрение (Параметрическая генерация. Генерация второй гармоники).
31. Временное преобразование: сжатие импульса.
32. Активные ограничители мощности.
33. Пассивные ограничители мощности.

#### **Критерии и шкалы оценивания:**

- 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 КИМ, выставляется оценка по четырехбалльной шкале:

4 балла – «отлично»; 3 балла – «хорошо»; 2 балла – «удовлетворительно»; от 0 до 1 баллов – «неудовлетворительно».