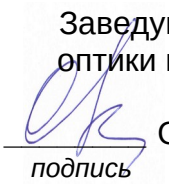
МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)
ПЕРЕДОВАЯ ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА (ПИШ)

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой
оптики и спектроскопии



_____ Овчинников О.В.
подпись

05.06.2025 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.В.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 04.06.2025*_____
(наименование рекомендующей структуры, дата, номер протокола)

8. Учебный год: ___2025/2026_____ **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 *
		Лекции	
1.	**Модуляторы оптического излучения.**	**1.1 Физические основы техники модуляции для передачи данных** **1.2 Фазовые электрооптические модуляторы.** Оптические свойства анизотропной среды. Феноменологическое описание электрооптического эффекта. Фазовая модуляция оптического излучения в линейных электрооптических средах. Многоэлементпые фазовые модуляторы. Модуляторы бегущей волны. **1.3 Амплитудные электрооптические модуляторы.** Принцип действия поляризационных модуляторов. Основные схемы поляризационных электрооптических модуляторов. Модуляторы с циркулярными поляризаторами. Амплитудные многоэлементпые модуляторы. Жидкостные модуляторы Керра (ячейки Керра). Модуляторы, использующие эффект Керра в твердом теле. **1.4 Интерференционные модуляторы.** Преобразование фазовой модуляции в амплитудную. Двухлучевые интерференционные модуляторы. Модуляторы на основе интерферометров. **1.5. Магнитооптические модуляторы.** Оптическая активность. Эффект Фарадея. Фарадеевский низкочастотный модулятор. Модуляция вблизи полосы поглощения. Резонансная СВЧ-модуляция. Магнитооптическая модуляция в полупроводниках .	
2	**Полупроводни-ковые модуляторы**	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	**Внутренняя модуляция лазерного**	Модуляция лазерного излучения путем управления коэффициентом усиления активной среды. Частотная модуляция излучения лазера при помощи эффектов	

	излучения.	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	**Преобразование лазерного пучка: распространение, усиление, преобразование частоты, сжатие импульса.**	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	**Способы ограничения мощности лазерного излучения.**	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.	Самостоя-тельная работа	Конт-роль	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: https://e.lanbook.com/book/118455 — 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: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=103827 – 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: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=612976 – 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 – https://e.lanbook.com/
10	ЭБС «Университетская библиотека Online» – https://biblioclub.ru/

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: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=564017 (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 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.

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. Многоэлементпые фазовые модуляторы.
5. Модуляторы бегущей волны.
6. Модуляторы с циркулярными поляризаторами.
7. Амплитудные многоэлементпые 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».