

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
(ВлГУ)

УТВЕРЖДАЮ

Проректор  
по образовательной деятельности

А.А.Панфилов

« 02 » 2019 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**«ОСНОВЫ КВАНТОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ»**

Направление подготовки **12.03.05 Лазерная техника и лазерные технологии**

Профиль/программа подготовки: **Лазерные и квантовые технологии**

Уровень высшего образования: **бакалавриат**

Форма обучения: **очная**

Семестр	Трудоемкость зач. ед./ час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	СРС, час.	Форма промежуточной аттестации (экзамен/зачет/зачет с оценкой)
4	5/180	36	18	18	72	Экзамен (36 ч)
Итого	5/180	36	18	18	72	Экзамен (36 ч)

Владимир 2019

## 1. ЦЕЛЬ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целями освоения дисциплины «Основы квантовой электроники» являются:

1. Получение представления об основных актуальных направлениях развития оптической и лазерной техники.
2. Формирование знаний об основах работы квантовых усилителей и генераторов, о характеристиках лазерного излучения, о законах распространения электромагнитного излучения в веществе.
3. Приобретение практических навыков начального расчета параметров лазерного излучения, выбора оптимальных схем квантовых усилителей для решения поставленных задач, построения и функционирования оптических квантовых усилителей.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

Дисциплина «Основы квантовой электроники» относится к обязательным дисциплинам базовой части Б1 основной профессиональной образовательной программы. Изучение дисциплины проходит в четвертом семестре. В учебном плане присвоен номер Б1.О.28.

Изучение дисциплины предполагает наличие у студентов фундаментальных знаний, полученных в рамках изучения дисциплин «Физика», «Основы квантовой физики», «Основы оптики»; а также наличие фундаментальных математических знаний.

Освоение дисциплины необходимо для изучения следующих дисциплин и практик учебного плана: «Лазерная техника», «Лазерные технологии», «Лазерные измерения», «Математическое моделирование в лазерной физике», «Производственная практика», выполнение выпускной квалификационной работы.

## 3. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения ОПОП.

Код формируемых компетенций	Уровень освоения компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине характеризующие этапы формирования компетенций (показатели освоения компетенции)
1	2	3
ОПК-1 Способен применять естественнонаучные и общинженерные знания, методы математического анализа и моделирования в инженерной деятельности, связанной с проектированием, конструированием и технологиями производства лазерной техники	частичное	Знает основные законы естественных наук, основные принципы разработки и производства элементов и устройств лазерной техники, лазерных технологических установок, а также оптических материалов и элементов; основную номенклатуру лазерной техники, особенности ее конструкции, технологии производства, а также условия и методы их эксплуатации. Умеет применять естественнонаучные и инженерные знания для проектирования, конструирования и производства лазерной техники. Владеет методами расчетов и проектирования технологий и исследований на основе естественнонаучных и инженерных знаний.
ПК-4 Способен проводить научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки по отдельным разделам темы в области лазерных и квантовых технологий	частичное	Знает теоретические основы лазерных и квантовых технологий, методы проведения экспериментов и наблюдений, обобщения и обработки информации, основы конструирования лазерных систем, а также же применение квантовых технологий. Умеет находить аналитические решения задач квантовой теории; практически применять теоретические знания при решении физических задач. Владеет методами организации и проведения измерений и исследований в области лазерных и квантовых технологий.

#### 4. ОБЪЕМ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц, 180 часов.

№ п/п	Наименование тем и/или разделов/тем дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Объем учебной работы, с применением интерактивных методов (в часах / %)	Формы текущего контроля успеваемости, форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	СРС		
1	История квантовой электроники	4	1-2	4	-	-	24	4 / 100%	-
2	Основы физики лазеров	4	3-9	14	8	8	24	10 / 33%	Рейтинг-контроль №1
3	Квантовые усилители – Лазеры	4	10-18	18	10	10	24	14 / 36,8%	Рейтинг-контроль №2 Рейтинг-контроль №3
Всего за 4 семестр:		4	18	36	18	18	72	28/38,8%	Экзамен (36 ч)
Наличие в дисциплине КП/КР		-	-	-	-	-	КР	-	-
Итого по дисциплине		4	18	36	18	18	72	28 / 38,8 %	Экзамен (36 ч)

#### Содержание лекционных занятий по дисциплине

##### Раздел 1. История квантовой электроники.

Тема 1 История квантовой электроники.

Содержание темы: История создания лазеров. Мазеры. Лазеры.

##### Раздел 2. Основы физики лазеров.

Тема 1. Поглощение и испускание света квантовой системой.

Содержание темы: Основы квантовой теории излучения. Спонтанное излучение. Время жизни частицы в возбужденном состоянии. Вероятность спонтанного перехода. Индуцированное излучение. Поглощение света. Коэффициенты Эйнштейна. Объемная плотность энергии. Инверсная населенность уровней.

Тема 2. Ширина и форма спектральной линии излучения.

Содержание темы: Естественное уширение. Спектральная линия, полуширина, ядро, крылья. Столкновительное уширение. Лоренцов контур. Форм-фактор. Однородное и неоднородное уширение. Доплеровское уширение. Гауссов контур. Сравнение лоренцова и гауссова профилей.

Тема 3. Коэффициент усиления активной среды.

Содержание темы: Вероятность вынужденного перехода с учетом уширения спектральной линии. Сечение вынужденного излучения. Коэффициент усиления активной среды.

Тема 4. Ненасыщенный коэффициент усиления.

Содержание темы: Ненасыщенный коэффициент усиления. Коэффициент усиления с учетом индуцированных переходов. Плотность фотонов насыщения. Интенсивность насыщения. Изменение населенности верхнего уровня при включении и выключении накачки. Изменение интенсивности вдоль активной среды без учета нерезонансных потерь. Нерезонансные потери в активной среде.

##### Раздел 3. Квантовые усилители – Лазеры

Тема 1. Квантовые усилители.

Содержание темы: Устройство лазера. Пороговый коэффициент усиления. Интенсивность выходного излучения лазеров в зависимости от прозрачности выходного зеркала. Оптимальная прозрачность выходного зеркала.

Тема 2. Резонаторы лазеров.

Содержание темы: Типы резонаторов. Диаграмма устойчивости. Каустика, формы каустики.

Достоинства и недостатки устойчивых и неустойчивых резонаторов.

Тема 3. Трехуровневый и четырехуровневый лазер.

Содержание темы: Четырехуровневый лазер. Система скоростных уравнений. Трехуровневый лазер. Система скоростных уравнений.

Тема 4. Модовый состав излучения.

Содержание темы: Модовый состав излучения. Продольные моды. Поперечные моды. Подавление поперечных мод высшего порядка. Монохроматичность лазерного излучения. Условие одномодового режима генерации. Трехзеркальный резонатор.

Тема 5. Энергетические характеристики лазера.

Содержание темы: Энергетические характеристики лазера. Мощность, КПД.

Тема 6. Пространственные характеристики лазерных пучков.

Содержание темы: Пространственные характеристики лазерных пучков. Распределение интенсивности по сечению пучка и расходимость пучка.

Тема 7. Фокусировка лазерного излучения.

Содержание темы: Фокусировка лазерного излучения. Глубина резкости пучка. Определение размеров пятна. Самофокусировка.

Тема 8. Когерентность световых волн.

Содержание темы: Временная когерентность. Время когерентности. Длина когерентности. Пространственная когерентность. Радиус когерентности.

Тема 9. Символика энергетических уровней.

Содержание темы: Символика энергетических уровней атомов и ионов. Символика энергетических уровней молекул.

#### **Содержание практических занятий**

Практическое занятие 1 «Определение коэффициентов Эйнштейна».

Практическое занятие 2 «Определение уширения спектральной линии излучения».

Практическое занятие 3 «Определение коэффициента усиления активной среды».

Практическое занятие 4 «Расчет резонатора».

Практическое занятие 5 «Определение модового состава излучения».

Практическое занятие 6 «Расчет расходимости лазерного излучения».

Практическое занятие 7 «Определение радиуса когерентности, времени когерентности».

#### **Содержание лабораторных занятий**

Лабораторная работа 1 «Определение длины волны излучения лазера на парах меди».

Лабораторная работа 2 «Принцип работы твердотельного волоконного лазера ЛС-02-Т».

Лабораторная работа 3 «Принцип работы лазерной установка точечной сварки CLW-50C™».

Лабораторная работа 4 «Принцип работы комплекса лазерной маркировки LDesigner F1».

Лабораторная работа 5 «Лазерный проекционный микроскоп CVL-10 для наблюдения области воздействия лазерного излучения на поверхность материалов (1 часть: воздействие на поверхность непрерывным лазерным излучением)».

Лабораторная работа 6 «Определение угловой расходимости излучения лазера на парах меди».

Лабораторная работа 7 «Лазерный проекционный микроскоп CVL-10 для наблюдения области воздействия лазерного излучения на поверхность материалов (2 часть: воздействие на поверхность импульсным лазерным излучением)».

Лабораторная работа 8 «Оценка монохроматичности, спектральной яркости и когерентности излучения лазера на парах меди».

### **5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

В преподавании дисциплины «Основы квантовой электроники» используются разнообразные образовательные технологии как традиционные, так и с применением активных и интерактивных методов обучения.

Активные и интерактивные методы обучения:

- лекционно-семинарская система обучения (традиционные лекционные и лабораторные занятия);
- обучение в малых группах (выполнение лабораторных работ в группах из двух или трёх человек);
- мастер-классы (демонстрация на лекционных занятиях принципов расчета задач по различным темам);
- применение мультимедиа технологий (проведение лекционных и семинарских занятий с

- применением компьютерных презентаций и демонстрационных роликов с помощью проектора или компьютера);
- информационно-коммуникационные технологии (применение информационных технологий для мониторинга текущей успеваемости студентов и контроля знаний).

## **6. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ**

### **Вопросы рейтинг-контроля**

#### **Вопросы рейтинг-контроля №1**

1. Спонтанное излучение.
2. Время жизни частицы в возбужденном состоянии.
3. Вероятность спонтанного перехода.
4. Индуцированное излучение.
5. Поглощение света. Коэффициенты Эйнштейна.
6. Инверсная населенность уровней.
7. Спектральная линия, полуширина, ядро, крылья.
8. Столкновительное уширение. Лоренцов контур. Форм-фактор.
9. Однородное и неоднородное уширение.
10. Доплеровское уширение. Гауссов контур.
11. Вероятность вынужденного перехода.

#### **Вопросы рейтинг-контроля №2**

1. Сечение вынужденного излучения.
2. Коэффициент усиления активной среды.
3. Ненасыщенный коэффициент усиления.
4. Коэффициент усиления с учетом индуцированных переходов.
5. Плотность фотонов насыщения.
6. Интенсивность насыщения.
7. Изменение интенсивности вдоль активной среды без учета нерезонансных потерь.
8. Нерезонансные потери в активной среде.
9. Устройство лазера. Активная среда.
10. Устройство лазера. Система накачки.
11. Устройство лазера. Резонатор.
12. Пороговый коэффициент усиления.
13. Интенсивность выходного излучения лазеров в зависимости от прозрачности выходного зеркала.
14. Оптимальная прозрачность выходного зеркала.

#### **Вопросы рейтинг-контроля №3**

1. Типы резонаторов.
2. Устойчивые и неустойчивые резонаторы.
3. Диаграмма устойчивости.
4. Каустика, формы каустики.
5. Достоинства и недостатки устойчивых и неустойчивых резонаторов.
6. Модовый состав излучения. Продольные моды.
7. Модовый состав излучения. Поперечные моды.
8. Монохроматичность лазерного излучения. Условие одномодового режима генерации.
9. Трехзеркальный резонатор.
10. Энергетические характеристики лазера. Мощность.
11. Энергетические характеристики лазера. КПД.
12. Пространственные характеристики лазерных пучков. Распределение интенсивности по сечению пучка.
13. Пространственные характеристики лазерных пучков. Расходимость пучка.
14. Фокусировка лазерного излучения.
15. Глубина резкости пучка.
16. Определение размеров пятна.
17. Самофокусировка.

18. Временная когерентность. Время когерентности. Длина когерентности.
19. Пространственная когерентность. Радиус когерентности.
20. Элементарные процессы в газоразрядной плазме.

#### Вопросы для экзамена

1. Основы квантовой теории излучения. Спонтанное излучение. Время жизни частицы в возбужденном состоянии. Вероятность спонтанного перехода.
2. Индуцированное излучение. Поглощение света. Коэффициенты Эйнштейна. Объемная плотность энергии.
3. Инверсная населенность уровней.
4. Естественное уширение. Спектральная линия, полуширина, ядро, крылья.
5. Столкновительное уширение. Лоренцов контур. Форм-фактор. Однородное и неоднородное уширение.
6. Доплеровское уширение. Гауссов контур.
7. Сравнение лоренцова и гауссова профилей.
8. Вероятность вынужденного перехода.
9. Сечение вынужденного излучения.
10. Коэффициент усиления активной среды.
11. Ненасыщенный коэффициент усиления.
12. Коэффициент усиления с учетом индуцированных переходов.
13. Плотность фотонов насыщения. Интенсивность насыщения.
14. Изменение населенности верхнего уровня при включении и выключении накачки.
15. Изменение интенсивности вдоль активной среды без учета нерезонансных потерь.
16. Нерезонансные потери в активной среде.
17. Устройство лазера.
18. Пороговый коэффициент усиления.
19. Интенсивность выходного излучения лазеров в зависимости от прозрачности выходного зеркала. Оптимальная прозрачность выходного зеркала.
20. Типы резонаторов. Диаграмма устойчивости.
21. Каустика, формы каустики.
22. Достоинства и недостатки устойчивых и неустойчивых резонаторов.
23. Модовый состав излучения. Продольные моды.
24. Модовый состав излучения. Поперечные моды.
25. Подавление поперечных мод высшего порядка.
26. Монохроматичность лазерного излучения. Условие одномодового режима генерации.
27. Трехзеркальный резонатор.
28. Энергетические характеристики лазера. Мощность, КПД.
29. Пространственные характеристики лазерных пучков. Распределение интенсивности по сечению пучка и расходимость пучка.
30. Фокусировка лазерного излучения.
31. Глубина резкости пучка.
32. Определение размеров пятна.
33. Самофокусировка.
34. Временная когерентность. Время когерентности. Длина когерентности.
35. Пространственная когерентность. Радиус когерентности.
36. Элементарные процессы в газоразрядной плазме.

#### Самостоятельная работа

1. Аудиторная самостоятельная работа студента по дисциплине выполняется на лабораторных и практических занятиях при решении задач.

2. Внеаудиторная самостоятельная работа выполняется студентом при углубленном изучении дисциплины по теме пройденной лекции, при подготовке к лабораторным работам, при выполнении курсовой работы. Основной формой самостоятельной работы студента является изучение конспекта лекций, рекомендованной литературы.

Самостоятельная работа завершает задачи всех других видов учебного процесса и может осуществляться на лекциях, семинарах, практических занятиях, лабораторных занятиях, консультациях. Как форма организации учебного процесса самостоятельная работа студентов представляет собой целенаправленную систематическую деятельность по приобретению знаний, осуществляемую вне аудитории.

Контроль выполнения самостоятельной работы осуществляется в ходе выполнения и защиты лабораторных работ по дисциплине; при выполнении практических заданий, на экзамене.

### Вопросы для контроля самостоятельной работы

1. Вклад Таунса, Прохорова, Басова в квантовую электронику.
2. Чем вынужденное излучение отличается от спонтанного?
3. Что такое ширина спектральной линии?
4. Что такое Гауссов пучок?
5. Что такое сечение вынужденного перехода?
6. Условие усиления активной среды.
7. Что такое концентрация фотонов насыщения?
8. Что такое оптический резонатор?
9. Какие виды накачки активной среды существуют?
10. Что такое устойчивый и неустойчивый резонатор?
11. Что такое мода излучения?
12. Что такое монохроматичность излучения?
13. Что такое добротность резонатора?
14. От чего зависит КПД лазера?
15. Как уменьшить расходимость излучения?
16. Что такое когерентность излучения?

Фонд оценочных средств для проведения аттестации уровня сформированности компетенций обучающихся по дисциплине оформляется отдельным документом.

## **7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **7.1. Книгообеспеченность**

Наименование литературы: автор, название, вид издания, издательство	Год издания	КНИГООБЕСПЕЧЕННОСТЬ	
		Количество экземпляров изданий в библиотеке ВлГУ в соответствии с ФГОС ВО	Наличие в электронной библиотеке ВлГУ
1	2	3	4
<b>Основная литература</b>			
1. Аракелян С.М. Введение в фемтонофотонику: фундаментальные основы и лазерные методы управляемого получения и диагностики наноструктурированных материалов: учебное пособие / С.М. Аракелян, А.О. Кучерик, В.Г. Прокошев, В.Г. Рау, А.Г. Сергеев. – М: Логос, 2015. – 774 с. – ISBN 978-5-98704-812-2. – 248 экз. библиотека ВлГУ.	2015	-	<a href="http://e.lib.vlsu.ru/bitstream/123456789/4747/1/01522.pdf">http://e.lib.vlsu.ru/bitstream/123456789/4747/1/01522.pdf</a>
2. Белов Н.П. Физические основы квантовой электроники [Электронный ресурс] / Белов Н.П., Шерстобитова А.С., Яськов А.Д. - Электрон. текстовые данные. - СПб.: Университет ИТМО, 2014. - 65 с.	2014	-	<a href="http://www.iprbookshop.ru/65346.html">http://www.iprbookshop.ru/65346.html</a>
2.Ташлыкова-Бушкевич И.И. Физика. Часть 2. Оптика. Квантовая физика. Строение и физические свойства вещества [Электронный ресурс]: учебник / Ташлыкова-Бушкевич И.И. - Электрон.текстовые данные. - Минск: Высшая школа.	2014	-	<a href="http://www.iprbookshop.ru/35563">http://www.iprbookshop.ru/35563</a> .
<b>Дополнительная литература</b>			
1. Шангина Л.И. Квантовая и оптическая электроника [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Шангина Л.И. - Электрон. текстовые данные. - Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2012. - 301 с.	2012	-	<a href="http://www.iprbookshop.ru/13939">http://www.iprbookshop.ru/13939</a>
2. Бакланов Е.В. Основы лазерной физики / Бакланов Е.В. - Новосибир.: НГТУ, 2011. - 131 с.: ISBN 978-5-7782-1606-8	2011	-	<a href="http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=546166">http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=546166</a>
2. Реутов А.Т. Физика лазеров. Часть 2. Основы теории лазеров [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Реутов А.Т. - Электрон. текстовые данные. - М.: Российский университет дружбы народов, 2011. - 96 с.	2011	-	<a href="http://www.iprbookshop.ru/11534">http://www.iprbookshop.ru/11534</a>

## 7.2. Периодические издания

1. Журнал «Квантовая электроника». Архив номеров. Режим доступа: <http://www.mathnet.ru/qe/archive>.
2. Научно-технический журнал «Фотоника». Режим доступа: <http://www.photonics.su>.
3. Оптический журнал. Режим доступа: <http://opticjourn.ifmo.ru/>.


## 8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Для реализации данной дисциплины имеются специальные помещения для проведения занятий. Лекционные аудитории оснащены доской (для мела или маркера), экраном для проекционных систем, проектором и ноутбуком.

Практические работы проводятся в научных и учебных лабораториях 107-3, 123-3, 419-3, 420-3, где размещены: волоконный лазер непрерывного излучения, миллисекундная лазерная установка, лазерный проекционный микроскоп, установка лазерной стереолитографии, атомно-силовой микроскоп и лабораторный стенд по оптоинформатике.

Аудитории для проведения занятий оснащены современными персональными компьютерами, объединёнными в локальную вычислительную сеть и укомплектованными необходимым системным и прикладным программным обеспечением.



Рабочую программу составил старший преподаватель каф. ФиПМ Жирнова С.В. 

Рецензент

(представитель работодателя)

Тен. директор ООО "Влад Ум Тех" Осипов А.В.  
(место работы, должность, ФИО, подпись)


Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ФиПМ

Протокол № 1 от 02.09.2019 года

Заведующий кафедрой: Аракелян С.М. 

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании учебно-методической комиссии  
направления 12.03.05 Лазерная техника и лазерные технологии

Протокол № 1 от 02.09.2019 года

Председатель комиссии: Аракелян С.М. 

**ЛИСТ ПЕРЕУТВЕРЖДЕНИЯ  
РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ ДИСЦИПЛИНЫ**

Рабочая программа одобрена на 2020-2021 учебный год

Протокол заседания кафедры № 1 от 31.08.2020 года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

*С. М. Афанасьев*

Рабочая программа одобрена на \_\_\_\_\_ учебный год

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

Рабочая программа одобрена на \_\_\_\_\_ учебный год

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

## **ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ**

в рабочую программу дисциплины

*Основы квантовой электроники*

образовательной программы направления подготовки *12.03.05 Лазерная техника и лазерные технологии*

Номер изменения	Внесены изменения в части/разделы рабочей программы	Исполнитель ФИО	Основание (номер и дата протокола заседания кафедры)
1			
2			

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_  
*Подпись**ФИО*