

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ФЕДЕРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
«КРИСТАЛЛОГРАФИЯ И ФОТОНИКА»
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК»
(ФНИЦ «КРИСТАЛЛОГРАФИЯ И ФОТОНИКА» РАН)

Принято на Ученом совете
ИПЛИТ РАН – филиала
ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН
Протокол № 4/2020 от 24 сентября 2020 г.

УТВЕРЖДАЮ

Директор
ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН



О.А. Алексеева

« 24 » сентября 2020 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
учебной дисциплины
«КВАНТОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА»

направление подготовки **11.06.01** Электроника, радиотехника и системы связи
направленность **Квантовая электроника (05.27.03)**

Квалификация
Исследователь. Преподаватель-исследователь

Шатура
2020

1. Цели и задачи дисциплины

Целью освоения дисциплины «Квантовая электроника» является овладение современными профессиональными знаниями в области квантовой электроники и их применение для решения практических задач разработки, исследования характеристик и применения приборов, устройств, систем и комплексов с использованием лазерного излучения, а также материалов, элементно-узловой базы, технологии и спецоборудования для них в науке и технике.

Достижение названной цели предполагает решение следующих **задач** дисциплины:

1) *теоретический компонент:*

- получить базовые представления о физических и конструкционных особенностях лазеров разных типов и основных характеристиках лазерного излучения;
- получить базовые представления об основных результатах и тенденциях развития фундаментальных исследований, прикладных разработок и применения лазерных технологий;

2) *практический компонент:*

- ознакомиться с практическими результатами по применению лазеров и лазерного оборудования в различных отраслях науки и техники;
- сформировать основные практические навыки применения лазеров и лазерного технологического оборудования в научных исследованиях.

2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы аспирантуры

Дисциплина «Квантовая электроника» (Б1.В.ОД.2) относится к вариативной части основной образовательной программы высшего образования – программы подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре по направлению подготовки 11.06.01 Электроника, радиотехника и системы связи (направленность 05.27.03 Квантовая электроника).

Дисциплина должна быть освоена аспирантом обязательно (но не обязательно в период обучения, отмеченный в базовом учебном плане).

Изучение данной дисциплины базируется на следующих дисциплинах подготовки магистров или специалистов:

- «Электродинамика»;
- «Квантовая механика»;
- «Физическая оптика»;
- «Физика твердого тела»;
- «Физика полупроводников и диэлектриков»;
- «Квантовая электроника»;
- «Оптоэлектроника»,
- «Лазерная техника».

3. Уровень высшего образования

Подготовка научно-педагогических кадров в аспирантуре (уровень подготовки кадров высшей квалификации).

4. Год обучения

Третий год обучения по базовому учебному плану.

5. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

Освоение дисциплины «Квантовая электроника» направлено на формирование следующих универсальных, общепрофессиональных и профессиональных компетенций аспиранта:

УК-1 (способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях);

ОПК-1 (владение методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности);

ОПК-2 (владение культурой научного исследования, в том числе с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий);

ОПК-3 (способность к разработке новых методов исследования и их применению в самостоятельной профессиональной научно-исследовательской деятельности в области профессиональной деятельности);

ПК-1 (способность проводить научные исследования и технические разработки лазеров, приборов, систем и комплексов с использованием лазерного излучения, материалов, элементно-узловой базы, технологий и специального оборудования с целью развития лазерной техники и лазерных информационных и фотонных технологий и их применения в различных отраслях науки, технике, медицине);

ПК-2 (способность управлять результатами научно-исследовательской деятельности (подготовка научных публикаций, научно-технических отчетов, обзоров, конкурсных заявок, заявок на патенты; выступления с докладами на конференциях, симпозиумах, семинарах, школах и т.д.)).

6. Конкретные знания, умения и навыки, формируемые в результате освоения дисциплины

В результате освоения дисциплины «Квантовая электроника» аспирант должен:

6.1. Знать

- физические основы квантовой электроники;
- принципы создания, параметры и области применения современных лазеров;
- основные свойства и параметры лазерного излучения, методы их измерения и управления ими;
- конструктивные особенности лазеров различных типов;
- практические требования к лазерам и лазерным системам, а также основные принципы их использования в различных лазерных технологиях;
- физические основы лазерных технологий;
- основные результаты и тенденции развития фундаментальных исследований, прикладных разработок и применения лазеров, лазерного оборудования и лазерных информационных технологий для различных областей науки и техники.

6.2. Уметь

- работать на современном лазерном оборудовании, в том числе и уникальном;
- осваивать теоретические подходы и экспериментальные методики, необходимые для проведения исследований в области квантовой электроники;
- пользоваться своими знаниями для выбора параметров лазеров и лазерных систем, режимов работы, материалов и оборудования, а также необходимых методов диагностики в исследовательских, прикладных и технологических задачах квантовой электроники;
- эффективно использовать информационные технологии и компьютерную технику для достижения необходимых теоретических и экспериментальных результатов;
- формулировать актуальность, цели и научную новизну исследовательской работы, проводимой в рамках диссертационного исследования.

6.3. Владеть

- практикой исследования и решения теоретических и прикладных задач квантовой электроники;
- культурой постановки и проведения эксперимента при использовании лазеров и лазерных систем различных типов;
- навыками выбора методов диагностики и оценки параметров процессов при использовании лазерного оборудования;

- навыками обработки результатов экспериментов и сопоставления с теоретическими и литературными данными;
- навыками работы с литературой по квантовой электронике;
- навыками самостоятельной работы в исследовательской лаборатории, библиотеке, сети Интернет.

7. Планируемые результаты обучения по дисциплине «Квантовая электроника»

(заполняется в соответствии с картами компетенций)

Формируемые компетенции (код компетенции, уровень освоения)	Планируемые результаты обучения по дисциплине
УК-1	<p>31 (УК-1) Знать методы критического анализа и оценки современных достижений в области квантовой электроники, а также методы генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях.</p> <p>У1 (УК-1) Уметь анализировать альтернативные варианты решения исследовательских и практических задач и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов.</p> <p>В1 (УК-1) Владеть навыками анализа методологических проблем, возникающих при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях</p>
ОПК-1	<p>31 (ОПК-1) Знать методики анализа современных проблем, способы и методы решения теоретических и экспериментальных задач в области квантовой электроники.</p> <p>У1 (ОПК-1) Уметь обоснованно выбирать и применять расчетно-теоретические методы для разработки физических и математических моделей исследуемых процессов, явлений и объектов в области квантовой электроники.</p> <p>У2 (ОПК-1) Уметь обоснованно выбирать и применять экспериментальные методы исследования для решения научных задач в области квантовой электроники.</p> <p>В1 (ОПК-1) Владеть современными методами теоретических и экспериментальных исследований для решения задач в области профессиональной деятельности.</p>
ОПК-2	<p>31 (ОПК-2) Знать современные информационные технологии, программные продукты и ресурсы сети Интернет для решения задач профессиональной деятельности.</p> <p>У1 (ОПК-2) Уметь использовать профессионально-профилированные знания в области современных информационных технологий, программных продуктов и ресурсов Интернет для решения задач профессиональной деятельности.</p> <p>В1 (ОПК-2) Владеть навыками поиска (в том числе с использованием новейших информационных систем и баз данных) и критического анализа научной и технической информации по тематике проводимых исследований.</p> <p>В2 (ОПК-2) Владеть навыками использования знаний в области информационных технологий, программных продуктов и ресурсов Интернет для решения задач профессиональной деятельности.</p>

<p style="text-align: center;">ОПК-3</p>	<p>32 (ОПК-3) Знать современные методы теоретических и экспериментальных исследований и возможности их применения в области профессиональной деятельности.</p> <p>У2 (ОПК-3) Уметь разрабатывать принципиально новые или существенно дорабатывать существующие методы теоретических и экспериментальных исследований, исходя из тенденций развития квантовой электроники, интерпретировать и применять полученные с их помощью результаты.</p> <p>В2 (ОПК-2) Владеть навыками разработки и применения принципиально новых или усовершенствованных методов теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности.</p>
<p style="text-align: center;">ПК-1</p>	<p>31 (ПК-1) Знать современное состояние науки в области квантовой электроники, тенденции развития фундаментальных исследований и прикладных разработок лазеров и лазерных информационных и фотонных технологий, цели и задачи научных исследований в выбранной области, базовые принципы и методы их организации.</p> <p>32 (ПК-1) Знать физические и конструкционные особенности лазеров разных типов, современные материалы, компоненты, лазерное диагностическое и технологическое оборудование, технологические процессы производства.</p> <p>У1 (ПК-1) Уметь проводить теоретические и экспериментальные исследования, включающие математическое и компьютерное моделирование, проектирование, конструирование, использование и эксплуатацию материалов, компонентов, приборов, устройств, установок квантовой электроники различного функционального назначения, лазерного технологического и диагностического оборудования.</p> <p>В2 (ПК-1) Владеть навыками исследования, моделирования, проектирования, конструирования и практического применения материалов, компонентов, приборов, устройств, установок квантовой электроники различного функционального назначения, лазерного технологического и диагностического оборудования.</p>
<p style="text-align: center;">ПК-2</p>	<p>31 (ПК-2) Знать принципы сбора данных, изучения, комплексного анализа и аналитического обобщения научно-технической информации, принципы формулирования и представления научно-обоснованных выводов по результатам научных исследований в области квантовой электроники.</p> <p>У1 (ПК-2) Уметь проводить системный анализ результатов научного исследования, определять важные и второстепенные блоки научной информации, грамотно и доходчиво излагать сложные теоретические выводы, заключения и методы, выявлять наиболее существенные для представления новые научные результаты.</p> <p>В1 (ПК-2) Владеть навыками анализа и обсуждения данных, полученных при проведении научных исследований в области квантовой электроники, формулировки выводов и рекомендаций по их применению.</p>

8. Содержание и структура дисциплины

8.1. Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины «Квантовая электроника» составляет 8 зачетных единиц (288 ак. часов) и включает аудиторную работу (60 ак. часов), самостоятельную работу (224 ак. часа) и сдачу кандидатского экзамена (4 ак. часа).

Вид работы	Трудоемкость, ак. часов
Общая трудоемкость	288
Аудиторная работа:	60
<i>Лекции (Л)</i>	44
<i>Практические занятия (Пр)</i>	16
Самостоятельная работа (Ср):	224
Самостоятельное изучение разделов	84
Самоподготовка (проработка и повторение лекционного материала и материала учебников и учебных пособий, в т.ч. подготовка к кандидатскому экзамену)	140
Вид итогового контроля (зачет, экзамен):	
Кандидатский экзамен	4

8.2. Содержание разделов дисциплины

№ раздела	Наименование раздела	Содержание раздела
1	Предмет квантовой электроники. Физические основы квантовой электроники.	Предмет и краткая история развития квантовой электроники. Энергетические состояния и квантовые переходы в атомных системах. Спонтанное и вынужденное излучения. Ширина и форма спектральных линий. Инверсия населенностей энергетических состояний. Насыщение, поглощение и усиление света. Оптическая когерентность. Лазерная генерация.
2	Типы лазеров.	Газовые лазеры. Лазеры на твердых активных средах. Принципы создания, параметры и области применения современных лазеров.
3	Резонаторы.	Оптические резонаторы: типы колебаний, собственные частоты, добротность оптических резонаторов. Методы селекций продольных и поперечных типов колебаний. Оптические резонаторы и лазерное излучение (фундаментальные проблемы и прикладные разработки).
4	Свойства активных сред и динамика излучения лазеров.	Активные среды с однородно-уширенной линией, кинетические уравнения, уравнения переноса. Анализ кинетики одномодового генератора. Взаимодействие

		<p>различных типов колебаний. Роль насыщения и неоднородности накачки. Многомодовый режим. Пички в лазерах. Шумы излучения. Методы стабилизации интенсивности и частоты излучения лазеров. Модуляция добротности. Время нарастания и длительность импульса генерации.</p>
5	Основные свойства и параметры лазерного излучения.	<p>Мощность лазерного излучения, энергия импульса излучения. Распределение излучения в ближней и дальней зонах, угловая расходимость. Когерентность (пространственная, временная). Поляризация, спектр мод резонатора. Стабильность. Шумы излучения, параметры модуляции лазеров. Методы измерения параметров лазерного излучения. Устройства для управления параметрами лазерного излучения.</p>
6	Принципы конструкции лазеров.	<p>Источники накачки и питания лазеров. Выбор оптической схемы, типа резонатора, оптических развязок, материалов (пропускание, однородность, оптическая плотность, точность обработки), элементов управления. Выбор источников накачки и параметров системы питания. Конструктивные принципы стабилизации основных параметров и обеспечения работы лазера в широком диапазоне температур.</p>
7	Основы физики газового разряда и его применение в лазерной технике.	<p>Плазма. ВАХ и типы разряда. Элементарные процессы в газовом разряде. Методы получения однородного газового разряда в большом объеме.</p>
8	Лазерные технологии: физические основы, методы, эффективность.	<p>Влияние параметров лазерного излучения на эффективность лазерных технологий (лазерная сварка металлов, лазерная резка металлов, аддитивные технологии спекания порошков). Проблемы фундаментальных исследований и прикладных разработок лазерных технологий. Импульсное лазерное осаждение тонких пленок металлов, оксидов металлов, полупроводников. Лазерные методы создания наноматериалов и наноструктур. Квантовые ямы, спиновые вентили, мемристоры.</p>
9	Лазерно-информационные и фотонные технологии в науке и технике.	<p>Лазерная химия. Сверхкритические флюидные технологии. Аддитивные лазерные технологии.</p>

8.3. Виды занятий, трудоемкость

№ раздела	Наименование разделов	Трудоемкость, ак. часов			
		Всего	Аудиторная работа		Вне-ауд. работа Ср
			Л	Пр	
1	Предмет квантовой электроники. Физические основы квантовой электроники.	36	6	-	30
2	Типы лазеров.	38	8	10	20
3	Резонаторы.	14	4	-	10
4	Свойства активных сред и динамика излучения лазеров.	31	6	-	25
5	Основные свойства и параметры лазерного излучения.	54	4	-	50
6	Принципы конструкции лазеров.	34	4	-	30
7	Основы физики газового разряда и его применение в лазерной технике.	7	2	-	5
8	Лазерные технологии: физические основы, методы, эффективность.	20	6	4	10
9	Лазерно-информационные и фотонные технологии в науке и технике.	50	4	2	44
	Кандидатский экзамен	4			
	Итого:	288	44	16	224

8.4. Лекции

№ занятия	№ раздела	Тематика	Трудоемкость, ак. часов
1	1	Предмет квантовой электроники. Физические основы квантовой электроники Предмет и краткая история развития квантовой электроники. Энергетические состояния и квантовые переходы в атомных системах. Спонтанное и вынужденное излучения. Ширина и форма спектральных линий. Инверсия населенностей энергетических состояний.	2
2	1	Предмет квантовой электроники. Физические основы квантовой электроники Насыщение, поглощение и усиление света. Оптическая когерентность.	2
3	1	Предмет квантовой электроники. Физические основы квантовой электроники Лазерная генерация.	2

№ занятия	№ раздела	Тематика	Трудоемкость, ак. часов
4	2	Типы лазеров. Газовые лазеры.	2
5	2	Типы лазеров. Лазеры на твердых активных средах.	2
6	2	Типы лазеров. Принципы создания, параметры и области применения современных лазеров (часть 1).	2
7	2	Типы лазеров. Принципы создания, параметры и области применения современных лазеров (часть 2).	2
8	3	Резонаторы. Оптические резонаторы: типы колебаний, собственные частоты, добротность оптических резонаторов. Методы селекций продольных и поперечных типов колебаний.	2
9	3	Резонаторы. Оптические резонаторы и лазерное излучение (фундаментальные проблемы и прикладные разработки).	2
10	4	Свойства активных сред и динамика излучения лазеров. Активные среды с однородно-уширенной линией, кинетические уравнения, уравнения переноса. Анализ кинетики одномодового генератора. Взаимодействие различных типов колебаний.	2
11	4	Динамика излучения лазеров. Роль насыщения и неоднородности накачки. Многомодовый режим. Пички в лазерах. Шумы излучения. Методы стабилизации интенсивности и частоты излучения лазеров.	2
12	4	Генерация серии импульсов и методы управления параметрами излучения лазеров. Модуляция добротности. Время нарастания и длительность импульса генерации.	2
13	5	Основные свойства и параметры лазерного излучения. Мощность лазерного излучения, энергия импульса излучения. Распределение излучения в ближней и дальней зонах, угловая расходимость. Когерентность (пространственная, временная). Поляризация, спектр мод резонатора.	2
14	5	Параметры лазерного излучения: методы измерения и управления. Стабильность. Шумы излучения, параметры модуляции лазеров. Методы измерения параметров лазерного излучения. Устройства для управления параметрами лазерного излучения.	2
15	6	Принципы конструкции лазеров. Источники накачки и питания лазеров. Выбор источников накачки и параметров системы питания.	2

№ занятия	№ раздела	Тематика	Трудоемкость, ак. часов
16	6	Принципы конструкции лазеров. Выбор оптической схемы, типа резонатора, оптических развязок, материалов (пропускание, однородность, оптическая плотность, точность обработки), элементов управления. Конструктивные принципы стабилизации основных параметров и обеспечения работы лазера в широком диапазоне температур.	2
17	7	Основы физики газового разряда и его применение в лазерной технике. Плазма. ВАХ и типы разряда. Элементарные процессы в газовом разряде. Методы получения однородного газового разряда в большом объеме.	2
18	8	Лазерные технологии: физические основы, методы, эффективность. Влияние параметров лазерного излучения на эффективность лазерных технологий (лазерная сварка металлов, лазерная резка металлов, аддитивные технологии спекания порошков). Проблемы фундаментальных исследований и прикладных разработок лазерных технологий.	2
19	8	Лазерные технологии: физические основы, методы, эффективность. Импульсное лазерное осаждение тонких пленок металлов, оксидов металлов, полупроводников.	2
20	8	Лазерные технологии: физические основы, методы, эффективность. Лазерные методы создания наноматериалов и наноструктур. Квантовые ямы, спиновые вентили, мемристоры.	2
21	9	Лазерно-информационные и фотонные технологии в науке и технике. Лазерная химия. Сверхкритические флюидные технологии.	2
22	9	Лазерно-информационные и фотонные технологии в науке и технике. Аддитивные лазерные технологии.	2
Итого:			44

8.5 Практические занятия

№ занятия	№ раздела	Тематика	Трудоемкость, ак. часов
1	2	Многоканальные волноводные технологические CO ₂ -лазеры	2
2	2	Электроразрядные CO ₂ -лазеры с аксиальной прокачкой газа	2
3	2	Твердотельные лазеры	2

№ занятия	№ раздела	Тематика	Трудоемкость, ак. часов
4	2	Экимерные лазеры	2
5	2	Волноводные CO ₂ -лазеры для медицины	2
6	8	Лазерная резка металлов. Лазерная сварка металлов	2
7	8	Лазерное напыление наноструктур и тонких пленок	2
8	9	Лазерный синтез трехмерных моделей для промышленных и медицинских приложений	2
Итого:			16

8.6. Самостоятельное изучение разделов дисциплины

№ раздела	Вопросы, выносимые на самостоятельное изучение
2	Полупроводниковые инжекционные лазеры.
	Лазеры на гетероструктурах.
	Лазеры на квантово-размерных структурах.
	Лазерные усилители.
	Преобразователи частоты излучения и перестраиваемые лазеры.
	Лазеры на растворах органических соединений (красителей).
	Комбинационные преобразователи и лазеры (на ВКР).
	Лазеры на свободных электронах.
4	Динамика полупроводниковых лазеров и газовых лазеров с доплеровской линией.
	Электрооптические, магнитооптические, оптико-механические, акустооптические модуляторы добротности.
	Просветляющиеся фильтры.
	Генерация сверхкоротких (фемтосекундных) импульсов.
	Метод синхронизации мод, полоса синхронизации и параметры импульсов.
	Управление параметрами импульсов, схемы модуляции добротности.
	Основные нелинейные эффекты в различных средах и их применение.
5	Преобразование частоты лазерного излучения, генерация гармоник и комбинационных частот, параметрическое усиление и параметрическая генерация света.
	Вынужденные рассеяния: Мандельштама-Бриллюена (ВРМБ), комбинационное (рамановское, ВКР), Рэлеевское.
	Самофокусировка.
	Оптический пробой в газах и твердых телах. Оптическая прочность (поверхностная и объемная) элементов лазера.
	Обращение волнового фронта методами нелинейной оптики.
	Активная спектроскопия комбинационного рассеяния.
	Лазерные затворы.
	Дефлекторы и модуляторы лазерного излучения.
	Ячейки Керра, Поккельса, Фарадея, акустооптические. Принцип работы, методы расчета, синхронизация внешним сигналом.
	Пространственно-временные модуляторы света.
	Адаптивные зеркала.
6	Оптические, в т.ч. управляемые фильтры.
	Источники питания твердотельных лазеров.
	Накачка твердотельных лазеров диодами.
	Источники питания газоразрядных лазеров.

	Источники питания инжекционных полупроводниковых лазеров.
	Системы теплоотвода и охлаждения активных элементов лазера.
8	Технологические принципы создания сложных полупроводниковых и оптических структур (методы вакуумного напыления, эпитаксии, ионной имплантации).
	Методы очистки газовых активных сред.
	Методы получения и обработки активных лазерных стекол и кристаллов.
	Методы выращивания и обработки нелинейно-оптических, электрооптических и акусто-оптических кристаллов.
9	Оптические методы записи, воспроизведения, хранения и обработки информации.
	Оптическая, в т.ч. волоконная, связь.
	Оптическая локация и лазерная дальнометрия.
	Дистанционное зондирование окружающей среды.
	Голография.
	Интерферометрия.
	Спектроскопия.
	Управляемый лазерный термоядерный синтез.
	Стандарты частоты.
	Метрология, измерительная техника.

9. Учебно-методическое обеспечение дисциплины

9.1. Основная литература

1. Херман Й., Вильгельм Б. Лазеры сверхкоротких световых импульсов. М.: Мир, 1986.
2. Физика полупроводниковых лазеров Под ред. Х. Тукумы. М.: Мир, 1989.
3. Звелто О. Принципы лазеров. М.: Мир, 1990. 558 с.
4. Ананьев Ю.А. Оптические резонаторы и лазерные пучки. М.: Наука, 1990.
5. Технологические лазеры: Справочник: В 2-х т. Под ред. Г.А. Абильситова. М., Машиностроение, 1991.
6. Коротеев Н.И., Шумай И.Л. Физика мощного лазерного излучения. М: Наука, 1991.
7. Быков В.П., Силичев О.О. Лазерные резонаторы, М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. 319 с.
8. Тарасов Л.В. Физические основы квантовой электроники: оптический диапазон. М.: URSS, 2010.
9. Шен И.Р. Принципы нелинейной оптики. М.: Наука, 1989.
10. Тарасов Л.В. Физика лазера. М: URSS, 2017.
11. Григорьянц А.Г., Шиганов И.Н., Мисюрлов А.И. Технологические процессы лазерной обработки. М.: Изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. 664 с.
12. Промышленное применение лазеров: Пер. с англ. / Ред. Кебнера Г. М: Машиностроение, 1988.
13. Современные лазерно-информационные и лазерные технологии: сб. трудов ИПЛИТ РАН. / Под ред. В.Я. Панченко, В.С. Голубева. М.: Интерконтакт Наука. 2005.
14. Лазерные технологии обработки материалов: современные проблемы фундаментальных исследований и прикладных разработок / Под ред. В.Я. Панченко. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009.
15. Современные лазерно-информационные технологии. Коллективная монография под ред. ак. В.Я. Панченко и проф. Ф.В. Лебедева. М.: Интерконтакт Наука, 2015. 959 с.
16. Глубокое каналирование и филаментация мощного лазерного излучения в веществе / Под ред. В.Я. Панченко. М.: Интерконтакт Наука. 2009.
17. Григорьянц А.Г., Васильцов В.В., Низьев В.Г. Основы лазерной селективной технологии: Учебное пособие. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002.
18. Васильцов В.В., Низьев В.Г. Лазерные системы для проведения операций по трансмиокардиальной реваскуляризации миокарда: Учеб. пособие. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2002.

9.2. Дополнительная литература

1. Ярив А. Введение в оптическую электронику. М.: Высшая школа, 1983.
2. Лазеры на алюмоиттриевом гранате с неодимом. /Под ред. Зверева Г.М. М.: Радио и связь, 1985.
3. Инжекционные лазеры и их применение. / Под ред. Глисева П.Г. М.: Наука, 1992.
4. Измерение параметров приемников оптического излучения. М.: Радио и связь, 1983.
5. Пихтин А.Н. Оптическая и квантовая электроника. Учебник. М.: Высш. шк., 2001.
6. Тарасов Л.В. Четырнадцать лекций о лазерах. М.: URSS, 2011.
7. Лазерная техника и технология. В 7 кн. Кн. 1. Физические основы технологических лазеров: Учеб. пособие для вузов / В.С. Голубев, Ф.В. Лебедев; Под ред. А.Г. Григорьянца. М.: Высш. шк., 1987.
8. Лазерная техника и технология. В 7 кн. Кн. 2. Инженерные основы создания технологических лазеров: Учеб. пособие для вузов / В.С. Голубев, Ф.В. Лебедев; Под ред. А.Г. Григорьянца. М.: Высш. шк., 1988.
9. Лазерная техника и технология. В 7 кн. Кн. 3. Методы поверхностной лазерной обработки: Учеб. пособие для вузов / А.Г. Григорьянц, А.П. Сафонов; Под ред. А.Г. Григорьянца. М.: Высш. шк., 1987.
10. Лазерная техника и технология. В 7 кн. Кн. 4. Лазерная обработка неметаллических материалов: Учеб. пособие для вузов / А.Г. Григорьянц, А.А. Соколов; Под ред. Л.Г. Григорьянца. М.: Высш. шк., 1988.
11. Лазерная техника и технология. В 7 кн. Кн. 5. Лазерная сварка металлов: Учеб. пособие для вузов / А.Г. Григорьянц, И.Н. Шиганов; Под ред. А.Г. Григорьянца. М.: Высш. шк., 1988.
12. Лазерная техника и технология. В 7 кн. Кн. 6. Основы лазерного термоупрочнения сплавов: Учеб. пособие для вузов / А.Г. Григорьянц, А.Н. Сафонов; Под ред. А.Г. Григорьянца. М.: Высш. шк., 1988.
13. Лазерная техника и технология. В 7 кн. Кн. 7. Лазерная резка металлов: Учеб. пособие для вузов / А.Г. Григорьянц, А.А. Соколов; Под ред. А.Г. Григорьянца. М.: Высш. шк., 1988.
14. Справочник по лазерам. В 2 т. / Под ред. А.М. Прохорова. М.: Сов. радио, 1978.
15. Исламов Р.Ш. Нелинейная оптика: Учеб. пособ. М.: Изд-во МИИГАиК. 2008.
16. Исламов Р.Ш. Генерация гармоник в нелинейных средах: Учеб. пособ. М.: МИИГАиК, 2015. 94 с.
17. Пути ученого. Е.П. Велихов. Под общей редакцией академика РАН В.П. Смирнова. М.: РНЦ «Курчатовский институт», 2007.
18. Лазерная инженерия хряща / Под ред. Баграташвили В.П., Соболя Э.Н. Шехтера А.Б. М.: Физматлит, 2006.
19. Тучин В.В. Лазеры и волоконная оптика в биомедицинских исследованиях. 2-е издание. М.: Физматлит, 2010.
20. Karu T.I. Ten Lectures on Basic Science of Laser Phototherapy. Prima Books AB. Granges-berg (Sweden). 2007.

9.3. Периодические издания

Журналы:

1. Вестник РАН
2. Доклады Академии наук
3. Журнал экспериментальной и теоретической физики
4. Журнал технической физики
5. Известия вузов. Приборостроение
6. Известия вузов. Физика
7. Известия РАН. Серия физическая.
8. Квантовая электроника
9. Нано- и микросистемная техника
10. Наноматериалы и наноструктуры
11. Нанотехнологии: наука и производство
12. Оптический журнал

13. Письма в ЖТФ
14. Перспективные материалы
15. Теплофизика высоких температур
16. Технология машиностроения
17. Российские нанотехнологии
18. Сварочное производство
19. Сверхкритические Флюиды: Теория и Практика
20. Успехи физических наук
21. Физика твердого тела
22. Физика плазмы
23. Физика и химия обработки материалов
24. Физика металлов и металловедение
25. Физика и техника полупроводников
26. Фотоника
27. Laser Physics
28. Laser Focus World
29. Laser in Medical Science
30. Applied Physics B

9.4. Электронные ресурсы, включая доступ к базам данных и т.д.:

РИНЦ	https://elibrary.ru/orgs.asp
Web of Science	http://apps.webofknowledge.com/WOS_GeneralSearch_input.do?product=WOS&search_mode=General-Search&SID=F2LiEv3BvmxwoCqmOmV&preferencesSaved=
Scopus	https://www.scopus.com/home.uri
Google Scholar citations	https://scholar.google.ru/citations?user=NbJEoV8A-AAAJ&hl=ru
IOP Institute of Physics материалы компании IOP Publishing Limited, а именно, база данных IOP Journal	http://www.iop.org/
AIP материалы компании American Institute of Physics	https://www.aip.org/
CASC материалы издательства EBSCO Publishing, а именно база данных CASC	https://www.ebsco.com/e/ru-ru/products-and-services/research-databases
APS Журналы Американского физического общества база данных APS Online Journals	https://www.aps.org/
IEEE материалы компании The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc, а именно, база данных IEEE/IEL	http://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp
RSC материалы Royal Society of Chem-	http://pubs.rsc.org/

istry	
Wiley материалы компании John Wiley & Sons Ltd., а именно база данных Wiley Journals	http://onlinelibrary.wiley.com/
Inspec материалы издательства EBSCO Publishing, а именно база данных INSPEC	https://www.ebsco.com/e/ru-ru/products-and-services/research-databases/inspec
ProQuest материалы компании и PROQUEST LLC, а именно база данных Proquest Dissertations and Theses Global	https://www.proquest.com/products-services/pqdtglobal.html
SpringerNature Зарубежные электронные ресурсы издательства, а именно: Springer Journals Springer Protocols Springer Materials Springer Reference zbMATH Nature Journals Nano Database	http://link.springer.com/ http://www.springerprotocols.com/ http://materials.springer.com/ http://link.springer.com/search?facet-content-type=%22ReferenceWork%22 http://zbmath.org/ http://npg.com/ https://nano.nature.com
Elsevier B.V. Science Direct Complete Freedom Collection зарубежные электронные ресурсы издательства Elsevier «Freedom Collection» и коллекция электронных книг «Freedom Collection eBook collection», размещенных на платформе Science Direct	https://www.elsevier.com/
CCDC - Cambridge Crystallographic Data Centre Зарубежные электронные ресурсы Кембриджского центра структурных данных	https://www.ccdc.cam.ac.uk/
Scifinder База данных	https://scifinder.cas.org

10. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы

10.1. Перечень и карта компетенций дисциплины «Квантовая электроника»

Универсальные компетенции	Общепрофессиональные компетенции	Профессиональные компетенции
---------------------------	----------------------------------	------------------------------

УК-1	УК-2	УК-3	УК-4	УК-5	УК-6	ОПК-1	ОПК-2	ОПК-3	ОПК-4	ОПК-5	ПК-1	ПК-2
+						+	+	+			+	+

Критерии оценивания компетенций приведены в основной образовательной программе высшего образования – программе подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре по направлению подготовки 11.06.01 Электроника, радиотехника и системы связи, направленность 05.27.03 Квантовая электроника.

10.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения

10.2.1. Контрольные вопросы для сдачи кандидатского экзамена

Раздел 1. Предмет квантовой электроники. Физические основы квантовой электроники.

- Предмет и краткая история развития квантовой электроники.
- Вклад отечественных ученых в разработку фундаментальных основ и принципов устройств квантовой электроники.
- Влияние квантовой электроники на развитие науки, техники и технологии.
- Оптические и безызлучательные переходы в квантовых системах. Спонтанное и вынужденное излучения.
- Энергетические состояния и квантовые переходы в атомных системах: атомные, молекулярные и ионные газы, ионы, центры окраски и красители в диэлектрических средах, оптические переходы в полупроводниках.
- Ширина и форма спектральных линий. Механизмы однородного и неоднородного уширения линий в газах и твердых телах, времена поперечной и продольной релаксаций.
- Инверсия населенностей энергетических состояний. Коэффициент усиления лазерной среды. Принципы создания инверсной населенности.
- Насыщение, поглощение и усиление света.
- Искажения контуров спектральных линий, эффект «выжигания дыр» в неоднородно уширенных линиях.

Раздел 2. Типы лазеров.

- Мазер на пучке молекул аммиака. Квантовый парамагнитный усилитель СВЧ.
- Газовые лазеры: газоразрядные (атомные, ионные, молекулярные, на парах металлов), фотодиссоционные, химические, газодинамические, электроионизационные, эксимерные. Особенности кольцевых газовых лазеров.
- Лазеры на твердых активных средах – стеклах, кристаллах, активированных волоконных материалах. Лазеры на кристаллах семейства гранатов с неодимом.
- Полупроводниковые инжекционные лазеры, лазеры на гетероструктурах, лазеры на квантово-размерных структурах.
- Лазерные усилители (бегущей волны, многопроходовые).
- Преобразователи частоты излучения и перестраиваемые лазеры: генераторы оптических гармоник, суммарных и разностных частот.
- Лазеры на растворах органических соединений (красителей).
- Комбинационные преобразователи и лазеры (на ВКР).
- Параметрические усилители и генераторы света.
- Перестраиваемые полупроводниковые лазеры.

- Лазеры на F -центрах.
- Лазеры на свободных электронах.

Раздел 3. Резонаторы.

- Объемные резонаторы СВЧ.
- Оптические резонаторы; основные типы открытых резонаторов: плоскопараллельные, конфокальные, устойчивые, неустойчивые, кольцевые.
- Типы колебаний, собственные частоты, добротность оптических резонаторов.
- Методы селекций продольных и поперечных типов колебаний.
- Пространственные и угловые характеристики излучения лазеров.

Раздел 4. Свойства активных сред и динамика излучения лазеров

- Активные среды с однородно-уширенной линией, кинетические уравнения, уравнения переноса.
- Анализ кинетики одномодового генератора. Взаимодействие различных типов колебаний.
- Роль насыщения и неоднородности накачки. Конкуренция мод, многомодовый режим. Пички в лазерах.
- Динамика полупроводниковых лазеров и газовых лазеров с доплеровской линией.
- Шумы излучения. Методы стабилизации интенсивности и частоты излучения лазеров.
- Модуляция добротности. Время нарастания и длительность импульса генерации. Электрооптические, магнитооптические, оптико-механические, акустооптические и другие модуляторы добротности.
- Просветляющиеся фильтры.
- Генерация серии импульсов. Метод синхронизации мод, полоса синхронизации и параметры импульсов.
- Управление параметрами импульсов, схемы модуляции добротности.
- Методы генерации сверхкоротких (фемтосекундных) импульсов света.

Раздел 5. Основные свойства и параметры лазерного излучения

- Основные нелинейные эффекты в различных средах и их применение.
- Преобразование частоты лазерного излучения, генерация гармоник и комбинационных частот, параметрическое усиление и параметрическая генерация света.
- Вынужденные рассеяния: Манделштама-Бриллюена (ВРМБ), комбинационное (рамановское, ВКР), Рэлеевское.
- Самофокусировка.
- Оптический пробой в газах и твердых телах. Оптическая прочность (поверхностная и объемная) элементов лазера.
- Обращение волнового фронта методами нелинейной оптики.
- Активная спектроскопия комбинационного рассеяния.
- Мощность (непрерывная, импульсная, средняя) лазерного излучения, энергия импульса излучения.
- Распределение излучения в ближней и дальней зонах, угловая расходимость.
- Когерентность (пространственная, временная).
- Поляризация, спектр мод резонатора (продольные и поперечные моды).
- Стабильность (кратковременная и долговременная, амплитудная и частотная).
- Шумы излучения, параметры модуляции лазеров.
- Методы измерения основных параметров лазерного излучения.
- Лазерные затворы.
- Дефлекторы и модуляторы лазерного излучения.
- Ячейки Керра, Поккельса, Фарадея, акустооптические. Принцип работы, методы расчета, синхронизация внешним сигналом.

- Пространственно-временные модуляторы света.
- Адаптивные зеркала.
- Оптические, в т.ч. управляемые фильтры.

Раздел 6. Принципы конструкции лазеров

- Источники питания твердотельных лазеров. Импульсные и непрерывные лампы накачки (типы, предельные и типовые мощности, методы поджига); разрядники (вакуумные, высокого давления, воздушные); методы управления и синхронизации.
- Источники питания газоразрядных лазеров. Методы предионизации. Электроионизационный метод (принцип, требования к электронному пучку, системе питания). Электроразрядные высокопоточные источники накачки (принцип работы, условия применяемости). ВЧ-накачка газовых лазеров.
- Особенности источников питания инжекционных полупроводниковых лазеров.
- Накачка твердотельных лазеров световыми и лазерными полупроводниковыми диодами.
- Выбор оптической схемы, типа резонатора, оптических развязок, материалов (пропускание, однородность, оптическая плотность, точность обработки), элементов управления.
- Выбор источников накачки и параметров системы питания.
- Обеспечение вибро- и удароустойчивости.
- Конструктивные принципы стабилизации основных параметров и обеспечения работы лазера в широком диапазоне температур. Системы теплоотвода и охлаждения активных элементов.

Раздел 7. Основы физики газового разряда и его применение в лазерной технике.

- Плазма. ВАХ и типы разряда.
- Элементарные процессы в газовом разряде.
- Методы получения однородного газового разряда в большом объеме.

Раздел 8. Лазерные технологии: физические основы, методы, эффективность

- Физические основы термических лазерных технологий.
- Лазерная сварка металлов
- Лазерная резка металлов
- Аддитивные технологии спекания порошков.
- Влияние параметров лазерного излучения на эффективность лазерных технологий.
- Проблемы фундаментальных исследований и прикладных разработок лазерных технологий.
- Физические основы метода импульсного лазерного осаждения.
- Импульсное лазерное осаждение тонких пленок металлов, оксидов металлов, полупроводников. Импульсное лазерное осаждение тонких пленок высокотемпературных ферромагнитных полупроводников.
- Лазерные методы создания наноматериалов и наноструктур. Квантовые ямы, спиновые вентили, мемристоры.
- Основы технологии лазерных материалов.
- Технологические принципы создания сложных полупроводниковых и оптических структур (методы вакуумного напыления, эпитаксии, ионной имплантации и др.).
- Методы очистки газовых активных сред.
- Методы получения и обработки активных лазерных стекол и кристаллов.
- Методы выращивания и обработки нелинейно-оптических, электрооптических и акустооптических кристаллов.

Раздел 9. Лазерно-информационные и фотонные технологии в науке и технике

- Лазерная химия.

- Сверхкритические флюидные технологии.
- Аддитивные лазерные технологии.
- Оптические методы записи, воспроизведения, хранения и обработки информации.
- Оптическая, в т.ч. волоконная, связь.
- Оптическая локация и лазерная дальнометрия.
- Дистанционное зондирование окружающей среды.
- Лазерная медицина.
- Голография.
- Интерферометрия.
- Спектроскопия.
- Лазерная гироскопия.
- Стандарты частоты.
- Управляемый лазерный термоядерный синтез.
- Лазерная химия.
- Метрология, измерительная техника.

Критерии оценки знаний, умений и навыков при сдаче устного экзамена приведены в Положении о фонде оценочных средств с методическими рекомендациями Федерального государственного учреждения «Федеральный научно-исследовательский центр «Кристаллография и фотоника» Российской академии наук».

11. Материально-техническое обеспечение дисциплины

При чтении лекций используются: компьютер и мультимедийное оборудование (проектор), доступ к сети Интернет, экран.

При проведении практических занятий используются экспериментальное научное и диагностическое оборудование:

- Многоканальные волноводные технологические CO₂-лазеры,
- Электроразрядные CO₂-лазеры с аксиальной прокачкой газа,
- Твердотельные лазеры,
- Эксимерные лазеры,
- Волноводные CO₂-лазеры для медицины,
- Автоматизированные установки для осаждения тонких пленок из лазерной плазмы, оснащенные лазерами ИК, видимого и УФ диапазона и вакуумными камерами с турбомолекулярной и криогенной откачкой,
- Установки для сверхкритической флюидной импрегнации и экстракции,
- Установка для трехмерного лазерного прототипирования.

Программу составили:

- д.ф.-м.н., профессор Ф.В. Лебедев
- д.ф.-м.н., профессор В.Г. Низьев