

**Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Московский физико-технический институт  
(национальный исследовательский университет)»**

**УТВЕРЖДЕНО**

**Директор физтех-школы  
электроники, фотоники и  
молекулярной физики**

**В.В. Иванов**

	<b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>
<b>по дисциплине:</b>	Квантовая электроника
<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Физика перспективных технологий: электроника и квантовые технологии Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики кафедра квантовой электроники
<b>курс:</b>	4
<b>квалификация:</b>	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 7 (осенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 30 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Программу составили:

Г.М. Зверев, д-р физ.-мат. наук, профессор

А.А. Фомичев, д-р физ.-мат. наук, профессор

Программа обсуждена на заседании кафедры квантовой электроники 29.05.2020

## **Аннотация**

Курс "Квантовая электроника" предусматривает овладение теоретическими и практическими принципами работы и построения различных типов лазеров, применяемых для решения различных физических и технологических задач в современном мире.

Задачи дисциплины:

- освещение роли различных типов лазеров в современном мире;
- теоретическое изучение основ физики лазеров и принципов их построения;
- выполнение практических работ, направленных на закрепление полученных теоретических знаний;
- овладение базовыми знаниями в области работы с лазерами различных типов.

По результатам освоения дисциплины студент должен:

**Знать:**

Теоретические основы работы различных типов лазеров и области их применения.

Основные понятия лазерной физики на русском и английском языках, что позволяет понимать профессиональную литературу.

**Уметь:**

Применять физические и математические методы для описания работы лазеров различного типа.

Эксплуатировать различную исследовательскую и испытательную аппаратуру, в т.ч. специализированную.

Работать и решать поставленные задачи в небольшом исследовательском коллективе.

Представлять результаты проделанной работы.

**Владеть:**

Методами работы со специализированным оборудованием.

Способами настройки и эксплуатации лазерной техники.

Темы и разделы дисциплины:

1. Предмет квантовой электроники и история ее становления.
2. Физические основы квантовой электроники. Ширина и форма спектральных линий.
3. Квантовые усилители и генераторы. Методы создания инверсной населенности.
4. Типы лазеров (твердотельные, газовые, волоконные, полупроводниковые).
5. Резонаторы. Пространственные и угловые характеристики излучения лазеров.
6. Динамика излучения лазеров. Кинетические уравнения. Одномодовый и многомодовый режим.
7. Методы управления излучением лазера. Модуляция добротности.
8. Основные нелинейно-оптические эффекты и их применение. Генерация гармоник.
9. Метод синхронизации мод. Генерация сверхкоротких (фемтосекундных) лазерных импульсов.

## **1. Цели и задачи**

### **Цель дисциплины**

- овладение теоретическими и практическими принципами работы и построения различных типов лазеров, применяемых для решения различных физических и технологических задач в современном мире.

### **Задачи дисциплины**

- освещение роли различных типов лазеров в современном мире;
- теоретическое изучение основ физики лазеров и принципов их построения;
- выполнение практических работ, направленных на закрепление полученных теоретических знаний;
- овладение базовыми знаниями в области работы с лазерами различных типов.

## **2. Перечень формируемых компетенций**

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1 Анализирует задачу, выделяя этапы ее решения, действия по решению задачи
	УК-1.3 Рассматривает различные варианты решения задачи, оценивает их преимущества и недостатки
ПК-1 Способен планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования	ПК-1.1 Владеет фундаментальными понятиями, законами и теориями современной физики
	ПК-1.4 Умеет строить математические модели для описания и исследования процессов и явлений в соответствующих научных областях

### 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- теоретические основы работы различных типов лазеров и области их применения;
- основные понятия лазерной физики на русском и английском языках, что позволяет понимать профессиональную литературу.

уметь:

- применять физические и математические методы для описания работы лазеров различного типа;
- эксплуатировать различную исследовательскую и испытательную аппаратуру, в т.ч. специализированную;
- работать и решать поставленные задачи в небольшом исследовательском коллективе;
- представлять результаты проделанной работы.

владеть:

- методами работы со специализированным оборудованием;
- способами настройки и эксплуатации лазерной техники.

### 4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

#### 4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Предмет квантовой электроники и история ее становления.	2			3
2	Физические основы квантовой электроники. Ширина и форма спектральных линий.	4			3
3	Квантовые усилители и генераторы. Методы создания инверсной населенности.	4			3
4	Типы лазеров (твердотельные, газовые, волоконные, полупроводниковые).	4			3
5	Резонаторы. Пространственные и угловые характеристики излучения лазеров.	4			3
6	Динамика излучения лазеров. Кинетические уравнения. Одномодовый и многомодовый режим.	4			3

7	Методы управления излучения лазера. Модуляция добротности.	4			4
8	Основные нелинейно-оптические эффекты и их применение. Генерация гармоник.	2			4
9	Метод синхронизации мод. Генерация сверхкоротких (фемтосекундных) лазерных импульсов.	2			4
Итого часов		30			30
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		90 час., 2 зач.ед.			

#### 4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 7 (Осенний)

##### 1. Предмет квантовой электроники и история ее становления.

Изложение истории становления квантовой электроники как современной отрасли науки, техники и технологии. Развитие предмета квантовой электроники на различных этапах становления. Освещение современного положения предмета, областей его применения и связи с другими отраслями науки и техники. Самостоятельное изучение дополнительной литературы.

##### 2. Физические основы квантовой электроники. Ширина и форма спектральных линий.

Изложение физических принципов формирования излучения в различных средах. Формирование представлений об основных свойствах колебательной природы излучения, его спектральных свойствах. Описание физических основ процесса излучения. Изучение различных активных сред, коэффициента усиления, достигаемого с их помощью. Закрепление пройденного материала с помощью решения задач самостоятельно и на занятиях с преподавателем.

##### 3. Квантовые усилители и генераторы. Методы создания инверсной населенности.

Изучение лазеров и мазеров как квантовых генераторов. Формирование представлений о квантовых усилителях. Описание различных методов создания инверсной населенности. Ознакомление с лазерами в лабораторных условиях. Самостоятельное закрепление материала.

##### 4. Типы лазеров (твердотельные, газовые, волоконные, полупроводниковые).

Освещение основных типов лазеров (твердотельных, газовых, волоконных, полупроводниковых), областей их применения, преимуществ и недостатков. Выполнение лабораторных работ, направленных на ознакомление с различными типами лазеров и методов работы с ними. Выполнение работы на закрепление материала самостоятельно и с преподавателем.

##### 5. Резонаторы. Пространственные и угловые характеристики излучения лазеров.

Изучение резонатора как основной составляющей лазера, его функций и влияния на формирование излучения лазера. Методы селекции продольных и поперечных типов колебаний. Проведение лабораторных работ, включающих в себя расчет резонатора для различных типов лазеров. Самостоятельное решение расчетных задач.

##### 6. Динамика излучения лазеров. Кинетические уравнения. Одномодовый и многомодовый режим.

Подробное изучение физических процессов, происходящих в лазере во время его работы. Применение кинетических уравнений для описания этих процессов. Изучение работы лазера в одномодовом и многомодовом режимах генерации. Выполнение самостоятельных и лабораторных работ, направленных на закрепление изложенного материала.

#### 7. Методы управления излучения лазера. Модуляция добротности.

Формирование понятий о методах управления лазерным излучением. Изучение модуляторов и метода модуляции добротности. Выполнение различных лабораторных работ, направленных на ознакомление с различными методами (в т.ч. акустооптическими модуляторами и методом модуляции добротности). Самостоятельное решение задач.

#### 8. Основные нелинейно-оптические эффекты и их применение. Генерация гармоник.

Изучение нелинейно-оптических эффектов, таких как вынужденные рассеяния: комбинационное, Мандельштам-Бриллюэновское, самофокусировка. Их применения в различных областях. Генерация гармоник в лазерах на основе нелинейных эффектов.

#### 9. Метод синхронизации мод. Генерация сверхкоротких (фемтосекундных) лазерных импульсов.

Теоретическое изложение метода синхронизации мод и его применения. Изучение методов получения сверхкоротких импульсов, их применения и актуальности в современной физике. Выполнение под руководством преподавателя лабораторной работы по получению сверхкоротких импульсов.

### 5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

учебная аудитория, оснащенная компьютером и мультимедийным оборудованием (проектор, звуковая система).

### 6. Перечень рекомендуемой литературы

#### Основная литература

1. Звелто О. Принципы лазеров. (М. Мир, 2008) -720 с.
2. Быков В.П., Силичев О.О. Лазерные резонаторы. (М. ФИЗМАТЛИТ, 2004) -320 с.
3. Тарасов Л. В. Четырнадцать лекций о лазерах. Изд. 2-е, перераб. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2011. — 176 с.
4. Карлов Н.В. Лекции по квантовой электронике. М. Наука., 1988 – 336с.

#### Дополнительная литература

1. Ананьев Ю.А. Оптические резонаторы и лазерные пучки. — М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1990. — 264 с..
2. Собельман И.И. Введение в теорию атомных спектров. М., Физматгиз, 1963 г. - 640 стр..
3. Г.М. Зверев, Ю.Д. Голяев, Е.А. Шалаев, А.А. Шокин. Лазеры на алюмоиттриевом гранате с неодимом. М.: Радио и связь, 1985.-144с..

### 7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

Не используются

## **8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)**

на лекционных занятиях используются мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций.

## **9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)**

Успешное освоение курса требует посещения занятий и напряжённой самостоятельной работы студента. В программе курса приведено минимально необходимое время для работы студента над темой. Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение и конспектирование рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала (по учебной и научной литературе), подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения, доказательство отдельных утверждений, свойств;
- решение задач, предлагаемых студентам на занятиях.

Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляется в форме индивидуальных консультаций.

Важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультациями к преподавателю.

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Физика перспективных технологий: электроника и квантовые технологии Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики кафедра квантовой электроники
<b>курс:</b>	4
<b>квалификация:</b>	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 7 (осенний) - Экзамен

**Разработчики:**

Г.М. Зверев, д-р физ.-мат. наук, профессор

А.А. Фомичев, д-р физ.-мат. наук, профессор

## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1 Анализирует задачу, выделяя этапы ее решения, действия по решению задачи
	УК-1.3 Рассматривает различные варианты решения задачи, оценивает их преимущества и недостатки
ПК-1 Способен планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования	ПК-1.1 Владеет фундаментальными понятиями, законами и теориями современной физики
	ПК-1.4 Умеет строить математические модели для описания и исследования процессов и явлений в соответствующих научных областях

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Квантовая электроника» обучающийся должен:

### знать:

- теоретические основы работы различных типов лазеров и области их применения;
- основные понятия лазерной физики на русском и английском языках, что позволяет понимать профессиональную литературу.

### уметь:

- применять физические и математические методы для описания работы лазеров различного типа;
- эксплуатировать различную исследовательскую и испытательную аппаратуру, в т.ч. специализированную;
- работать и решать поставленные задачи в небольшом исследовательском коллективе;
- представлять результаты проделанной работы.

### владеть:

- методами работы со специализированным оборудованием;
- способами настройки и эксплуатации лазерной техники.

## 3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

В целях проведения текущего контроля успеваемости предусмотрен краткий опрос по темам предыдущего занятия.

## 4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся

Вопросы к экзамену:

1. История развития предмета квантовой электроники.
2. Спектральные характеристики лазерного излучения.
3. Отличия однородного и неоднородного уширения спектральных линий.
4. Расчет коэффициента усиления активной среды.
5. Методы создания инверсной населенности.
6. Способы накачки лазера.
7. Твердотельные лазеры: работа, применение, достоинства и недостатки.
8. Перестраиваемые лазеры и лазеры на красителях.
9. Газовые лазеры, He-Ne и CO<sub>2</sub> лазеры.
10. Активное волокно, волоконные лазеры.
11. Полупроводниковые инжекционные лазеры.
12. Полупроводниковые лазеры на гомо- и гетеропереходах.
13. Физика гауссовых пучков.



14. Различные конструкции резонаторов лазеров.
15. Пространственные и угловые характеристики излучения лазеров.
16. Кинетические уравнения, описывающие работу лазера.
17. Различия в одномодовом и многомодовом режимах генерации.
18. Методы селекции продольных и поперечных типов колебаний.
19. Методы управления излучения лазера.
20. Различные виды модуляторов, их достоинства и недостатки.
21. Режим модуляции добротности лазера.
22. Пички в лазерах.
23. Эффект самофокусировки.
24. Комбинационное рассеяние и рассеяние Мандельштам-Бриллюэновское.
25. Генерация гармоник в лазерах.
26. Метод синхронизации мод.
27. Получение сверхкоротких импульсов.
28. Лазерный гироскоп.
29. Крутильный и магнитооптический магнитометры.

Примеры экзаменационных билетов.

Пример 1.

1. Метод синхронизации мод.
2. Получение сверхкоротких импульсов

Пример 2.

1. Активное волокно, волоконные лазеры.
2. Полупроводниковые инжекционные лазеры.

Критерии оценивания

10 баллов — (ПРЕВОСХОДНО):

- систематизированные, глубокие и полные знания по всем разделам учебной программы, а также по основным вопросам, выходящим за ее пределы;
- точное использование научной терминологии (в том числе на иностранном языке), стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы;
- безупречное владение инструментарием учебной дисциплины, умение его эффективно использовать в постановке и решении научных и профессиональных задач;
- выраженная способность самостоятельно и творчески решать сложные проблемы в нестандартной ситуации;
- полное и глубокое усвоение основной и дополнительной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им критическую оценку, использовать научные достижения других дисциплин;
- творческая самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, активное участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

9 баллов — (ОТЛИЧНО):

- систематизированные, глубокие и полные знания по всем разделам учебной программы;
- точное использование научной терминологии (в том числе на иностранном языке), стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы;
- владение инструментарием учебной дисциплины, умение его эффективно использовать в постановке и решении научных и профессиональных задач;
- способность самостоятельно и творчески решать сложные проблемы в нестандартной ситуации в рамках учебной программы, полное усвоение основной и дополнительной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им критическую оценку;
- самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, творческое участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

8 баллов — (ПОЧТИ ОТЛИЧНО):

- систематизированные, глубокие и полные знания по всем поставленным вопросам в объеме учебной программы;
- использование научной терминологии, стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы, умение делать обоснованные выводы;
- владение инструментарием учебной дисциплины (методами комплексного анализа, техникой информационных технологий), умение его использовать в постановке и решении научных и профессиональных задач; способность самостоятельно решать сложные проблемы в рамках учебной программы;
- усвоение основной и дополнительной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им критическую оценку с позиций государственной идеологии (по дисциплинам социально-гуманитарного цикла);
- активная самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, систематическое участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

7 баллов — (ОЧЕНЬ ХОРОШО):

- систематизированные, глубокие и полные знания по всем разделам учебной программы;
- использование научной терминологии (в том числе на иностранном языке), лингвистически и логически правильное изложение ответа на вопросы, умение делать обоснованные выводы;
- владение инструментарием учебной дисциплины, умение его использовать в постановке и решении научных и профессиональных задач;
- усвоение основной и дополнительной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им критическую оценку;
- самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

6 баллов — (ХОРОШО):

- достаточно полные и систематизированные знания в объеме учебной программы;
- использование необходимой научной терминологии, стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы, умение делать обоснованные выводы;
- владение инструментарием учебной дисциплины, умение его использовать в решении учебных и профессиональных задач; способность самостоятельно применять типовые решения в рамках учебной программы;
- усвоение основной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в базовых теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им сравнительную оценку; активная самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, периодическое участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

5 баллов — (ПОЧТИ ХОРОШО):

- достаточные знания в объеме учебной программы;
- использование научной терминологии, стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы, умение делать выводы;
- владение инструментарием учебной дисциплины, умение его использовать в решении учебных и профессиональных задач;
- способность самостоятельно применять типовые решения в рамках учебной программы;
- усвоение основной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в базовых теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им сравнительную оценку;
- самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

4 балла — (УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО), ЗАЧТЕНО:

- достаточный объем знаний в рамках образовательного стандарта;
- усвоение основной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- использование научной терминологии, стилистическое и логическое изложение ответа на вопросы, умение делать выводы без существенных ошибок;

- владение инструментарием учебной дисциплины, умение его использовать в решении стандартных (типовых) задач;
- умение под руководством преподавателя решать стандартные (типовые) задачи;
- умение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им оценку;
- работа под руководством преподавателя на практических, лабораторных занятиях, допустимый уровень культуры исполнения заданий.

3 балла — (НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО), НЕЗАЧТЕНО:

- недостаточно полный объем знаний в рамках образовательного стандарта;
- знание части основной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- использование научной терминологии, изложение ответа на вопросы с существенными лингвистическими и логическими ошибками;
- слабое владение инструментарием учебной дисциплины, некомпетентность в решении стандартных (типовых) задач;
- неумение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях изучаемой дисциплины;
- пассивность на практических и лабораторных занятиях, низкий уровень культуры исполнения заданий.

2 балла — (НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО):

- фрагментарные знания в рамках образовательного стандарта;
- знания отдельных литературных источников, рекомендованных учебной программой дисциплины;
- неумение использовать научную терминологию дисциплины, наличие в ответе грубых стилистических и логических ошибок;
- пассивность на практических и лабораторных занятиях, низкий уровень культуры исполнения заданий.

1 балл — (НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО):

- отсутствие знаний и компетенций в рамках образовательного стандарта или отказ от ответа.

## **5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности**

При проведении экзамена обучающемуся предоставляется 30 минут на подготовку. Опрос обучающегося по билету не должен превышать двух астрономических часов в устной и (или) письменной форме.