

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

**УТВЕРЖДЕНО**

**Директор физтех-школы физики  
и исследований им. Ландау  
А.В. Рогачев**

	<b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>
<b>по дисциплине:</b>	Основы лазерной физики
<b>по направлению:</b>	Фотоника и оптоинформатика
<b>профиль подготовки:</b>	Фотоника, квантовые технологии и двумерные материалы Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра электрофизики
<b>курс:</b>	1
<b>квалификация:</b>	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - 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 составил: П.В. Короленко, д-р физ.-мат. наук, профессор

Программа обсуждена на заседании кафедры электрофизики 18.06.2024

## Аннотация

Курс предназначен для студентов, аспирантов и стажеров, специализация которых предполагает подготовку в области лазерной физики и взаимодействия лазерного излучения с веществом. Его освоение требует предварительного знакомства с физической оптикой в рамках курса общей физики, а также определенных знаний по электродинамике и квантовой механике.

Наряду с общими вопросами, относящихся к принципам работы основных типов лазеров, в курсе большое внимание уделено изучению процессов формирования пространственно-временной структуры излучения в лазерных системах, свойствам лазерных пучков, описанию их распространения через различные устройства и передающие среды. Подробно освещены вопросы улучшения качества лазерного излучения, включая использование элементов адаптивной оптики. Рассмотрено применение лазеров в технологических и коммутационных системах, в устройствах записи и обработки оптической информации.

Актуальность курса определяется необходимостью освоения новых разработок в области физики лазеров и современной фотоники, быстрым развитием лазерных технологий и систем связи.

## 1. Цели и задачи

### Цель дисциплины

освоение студентами фундаментальных и прикладных знаний в области физики лазеров.

### Задачи дисциплины

- формирование базовых знаний в области квантовых генераторов электромагнитного излучения, процессов распространения и преобразования когерентного излучения в оптических системах и передающих средах;
- обучение студентов принципам работы, создания и использования новейших квантовых устройств, а также выявлению особенностей их функциональных характеристик;
- формирование подходов к выполнению исследований студентами в области электрофизики, оптики когерентного излучения, в рамках выполнения работ в лабораториях базовых предприятий.

## 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук	ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания в области физико-математических наук
	ОПК-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области фотоники и оптоинформатики
ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи	ОПК-2.1 Имеет представление о современном состоянии исследований в области фотоники и оптоинформатики
	ОПК-2.2 Способен оценивать актуальность исследований в области своей профессиональной деятельности и их практическую значимость
	ОПК-2.3 Владеет профессиональной терминологией, используемой в современной научно-технической литературе, обладает навыками устного и письменного изложения результатов научной деятельности в рамках профессиональной коммуникации
ОПК-3 Способен выбирать и (или) разрабатывать подходы к решению типовых и новых задач в области профессиональной деятельности, учитывая особенности и ограничения различных методов решения	ОПК-3.2 Способен использовать исследовательские методы при решении новых задач, применяя знания в различных областях науки (техники)

ОПК-4 Способен успешно реализовывать решение поставленной задачи, провести анализ результата и представить выводы, применяя знания и навыки в области физико-математических наук и информационно-коммуникационных технологий	ОПК-4.2 Способен применять знания в области физико-математических наук для решения поставленной задачи, формулирования выводов и оценки полученных результатов
	ОПК-4.3 Способен аргументировано выбирать способ проведения научного исследования
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований в области фотоники и оптоинформатики к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты
ПК-3 Способен профессионально работать с исследовательским и испытательным оборудованием (приборами и установками, специализированными пакетами прикладных программ) в избранной предметной области	ПК-3.1 Понимает принципы работы используемого оборудования (специализированных пакетов прикладных программ)
	ПК-3.2 Способен проводить эксперимент (моделирование) с использованием исследовательского оборудования (пакетов прикладных программ)
	ПК-3.3 Способен оценивать точность полученных экспериментальных (численных) результатов

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

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

принципы работы квантовых источников электромагнитного излучения;  
свойства когерентных световых пучков;  
основные теоретические и экспериментальные методы, используемые в области физики лазеров;  
результаты открытий и исследований, определивших пути развития квантовой и нелинейной оптики, физики взаимодействия излучения с веществом.

уметь:

проводить самостоятельно и в коллективе экспериментальные или теоретические исследования по физике лазеров;  
осуществлять процедуру измерения физических величин и правильно оценивать степень их достоверности;  
анализировать и обобщать результаты экспериментальных исследований;  
видеть и оценивать основные проблемы и ставить новые задачи.

владеть:

методикой экспериментальной работы с современными источниками излучения и приборами регистрации их характеристик;  
основными приемами проведения модельных расчетов;  
навыками представления своих результатов на семинарах и конференциях;  
навыками освоения большого объема информации, включая работу с научной литературой;  
правилами написания научных статей.

### 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	Принцип работы и устройство лазера	4			4
2	Открытые резонаторы	4			4

3	Свойства лазерных пучков	5			5
4	Основные типы лазеров	4			4
5	Применение лазеров	5			5
6	Сверхсильные лазерные поля	4			4
7	Фундаментальные и прикладные проблемы лазерной физики	4			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: 2 (Весенний)

##### 1. Принцип работы и устройство лазера

Принципиальная схема лазера. Инверсия заселенностей. Трехуровневая и четырехуровневая схемы лазерной генерации.

Балансные уравнения генерации. Пороговые условия и оценка мощности излучения.

##### 2. Открытые резонаторы

Устойчивые и неустойчивые резонаторы. Геометрооптические модели внутрирезонаторных полей. Волновое описание мод оптических резонаторов. Пространственно-спектральная структура лазерного излучения.

##### 3. Свойства лазерных пучков

Эрмито-гауссовы и лагерро-гауссовы моды свободного пространства. Расходимость лазерных пучков и их фокусировка. Правило "ABCD". Способы улучшения качества лазерных пучков. Адаптивные системы.

##### 4. Основные типы лазеров

Непрерывные и импульсные газовые лазеры. Электроразрядные и электроионизационные лазеры. Эксимерные лазеры. Лазеры на самоограниченных переходах. Системы сжатия импульсов. Твердотельные лазеры. Жидкостные лазеры. Лазеры на электронных пучках и на квантовых точках.

##### 5. Применение лазеров

Лазерные системы связи. Допплеровские измерители скорости и локаторы. Использование лазеров в технологии, медицине и информационных системах. Лазерная спектроскопия. Лазерно-плазменные источники рентгеновского излучения. Лазерный термоядерный синтез.

##### 6. Сверхсильные лазерные поля

Фемтосекундная оптика. Роль магнитной составляющей электромагнитного поля. Использование сверхсильного лазерного излучения для ускорения частиц и генерации высоких гармоник.

##### 7. Фундаментальные и прикладные проблемы лазерной физики

Анализ условий развития динамического хаоса в лазерных системах. Поиск возможностей улучшения характеристик автомодуляционных режимов генерации. Разработка способов получения вихревых лазерных пучков и пучков с фрактальной структурой.

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

Учебная аудитория, оснащенная компьютерными аудио и видео средствами.

## **6.Перечень рекомендуемой литературы**

### Основная литература

1. Лекции по квантовой электронике [Текст] / Н. В. Карлов .— 2-е изд., испр. и доп. — М. : Наука, 1988 .— 336 с.
2. Интенсивные резонансные взаимодействия в квантовой электронике [Текст] / В. М. Акулин, Н. В. Карлов .— М. : Наука, 1987 .— 312 с.
3. Короленко П. В. Когерентная оптика. - М.:Издательство Юрайт, 2020.

### Дополнительная литература

1. Физическая оптика [Текст] : учебник для вузов / С. А. Ахманов, С. Ю. Никитин .— М : Изд-во МГУ, 1998 .— 656 с.
2. О квантовой электронике [Текст], статьи и выступления/Н. Г. Басов , -М., Наука, 1987
3. Импульсная энергетика и электроника [Текст], [монография]/Г. А. Месяц, -М, Наука, 2004
4. Тарлыков В, А. Когерентная оптика: учебное пособие. - СПбГУ ИТМО, 2011.
5. Когерентно-оптические методы в измерительной технике и биофотонике / под редакцией В. П. Рябухо, В. В. Тучина. - Саратов: Сателлит, 2009

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

1. <http://www.edu.ru> – федеральный портал «Российское образование».
2. <http://benran.ru> –библиотека по естественным наукам Российской академии наук.
3. <http://www.i-exam.ru> – единый портал Интернет-тестирования в сфере образования.
4. <https://optics.phys.msu.ru> – сайт кафедры оптики, спектроскопии и физики наносистем физического факультета МГУ; раздел студентам, учебные материалы.

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

Предполагается использование для дистанционного обучения портал электронных образовательных ресурсов: <https://distant.msu.ru/login/signup.php>, а также электронный ресурс Яндекс.Телемост.

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

Студент, изучающий дисциплину, должен, с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике. В результате изучения дисциплины студент должен знать основные определения и понятия, уметь применять полученные знания для решения различных задач.

Успешное освоение курса требует:

- посещения всех занятий, предусмотренных учебным планом по дисциплине;
- ведения конспекта занятий;
- напряжённой самостоятельной работы студента.

Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение рекомендованной литературы;

- проработку учебного материала, подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения;
- решение задач, предлагаемых студентам на занятиях;
- подготовку к выполнению заданий текущей и промежуточной аттестации.

Показателем владения материалом служит умение без конспекта отвечать на вопросы по темам дисциплины.

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

Возможен промежуточный контроль знаний студентов в виде решения задач в соответствии с тематикой занятий.

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

<b>по направлению:</b>	Фотоника и оптоинформатика
<b>профиль подготовки:</b>	Фотоника, квантовые технологии и двумерные материалы Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра электрофизики
<b>курс:</b>	<u>1</u>
<b>квалификация:</b>	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Экзамен

**Разработчик:** П.В. Короленко, д-р физ.-мат. наук, профессор

## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук	ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания в области физико-математических наук
	ОПК-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области фотоники и оптоинформатики
ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи	ОПК-2.1 Имеет представление о современном состоянии исследований в области фотоники и оптоинформатики
	ОПК-2.2 Способен оценивать актуальность исследований в области своей профессиональной деятельности и их практическую значимость
	ОПК-2.3 Владеет профессиональной терминологией, используемой в современной научно-технической литературе, обладает навыками устного и письменного изложения результатов научной деятельности в рамках профессиональной коммуникации
ОПК-3 Способен выбирать и (или) разрабатывать подходы к решению типовых и новых задач в области профессиональной деятельности, учитывая особенности и ограничения различных методов решения	ОПК-3.2 Способен использовать исследовательские методы при решении новых задач, применяя знания в различных областях науки (техники)
ОПК-4 Способен успешно реализовывать решение поставленной задачи, провести анализ результата и представить выводы, применяя знания и навыки в области физико-математических наук и информационно-коммуникационных технологий	ОПК-4.2 Способен применять знания в области физико-математических наук для решения поставленной задачи, формулирования выводов и оценки полученных результатов
	ОПК-4.3 Способен аргументировано выбирать способ проведения научного исследования
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований в области фотоники и оптоинформатики к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты
ПК-3 Способен профессионально работать с исследовательским и испытательным оборудованием (приборами и установками, специализированными пакетами прикладных программ) в избранной предметной области	ПК-3.1 Понимает принципы работы используемого оборудования (специализированных пакетов прикладных программ)
	ПК-3.2 Способен проводить эксперимент (моделирование) с использованием исследовательского оборудования (пакетов прикладных программ)
	ПК-3.3 Способен оценивать точность полученных экспериментальных (численных) результатов

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Основы лазерной физики» обучающийся должен:

### знать:

принципы работы квантовых источников электромагнитного излучения;  
 свойства когерентных световых пучков;  
 основные теоретические и экспериментальные методы, используемые в области физики лазеров;  
 результаты открытий и исследований, определивших пути развития квантовой и нелинейной оптики, физики взаимодействия излучения с веществом.

### уметь:



проводить самостоятельно и в коллективе экспериментальные или теоретические исследования по физике лазеров;  
осуществлять процедуру измерения физических величин и правильно оценивать степень их достоверности;  
анализировать и обобщать результаты экспериментальных исследований;  
видеть и оценивать основные проблемы и ставить новые задачи.

**владеть:**

методикой экспериментальной работы с современными источниками излучения и приборами регистрации их характеристик;  
основными приемами проведения модельных расчетов;  
навыками представления своих результатов на семинарах и конференциях;  
навыками освоения большого объема информации, включая работу с научной литературой;  
правилами написания научных статей.

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

Примеры заданий контрольной работы:

1. При заданных параметрах лазерного резонатора с устойчивой геометрией определить расходимость его основной моды.
2. При заданном коэффициенте увеличения конфокального неустойчивого резонатора лазера рассчитать распределение интенсивности выходного пучка в дальней зоне.
3. В каких лазерах и каким способом были получены самые узкие линии генерации?

Примеры задач из домашних заданий:

1. С каким фокусом нужно взять собирающую линзу и на каком расстоянии от выходного зеркала лазера ее расположить, чтобы обеспечить получение минимального светового пятна?
2. Чем объясняется повышенная устойчивость вихревых пучков при их распространении в атмосфере?
3. В чем состоят преимущества и недостатки неустойчивых резонаторов по сравнению с устойчивыми?

Примеры тем рефератов:

1. Основные исторические вехи разработки и создания лазеров.
2. Основные способы улучшения качества лазерного излучения.
3. Способы получения фемтосекундных лазерных импульсов и их применение.

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

Примерный перечень контрольных вопросов:

1. Принцип работы и устройство лазера. Инверсия заселенностей.
2. Трехуровневая и четырехуровневая схемы лазерной генерации.
3. Балансные уравнения генерации.
4. Пороговые условия и оценка мощности излучения.
5. Открытые резонаторы и лазерные пучки.
6. Устойчивые и неустойчивые резонаторы.
7. Геометрооптические модели внутрирезонаторных полей.
8. Волновое описание мод оптических резонаторов.
9. Пространственно-спектральная структура и когерентность лазерного излучения.
10. Непрерывные газовые лазеры и их схемы накачки. Гелий – неоновые, аргоновые лазеры, лазеры на углекислом газе.
11. Импульсные газовые лазеры. Электроразрядные и электроионизационные лазеры.
12. Эксимерные лазеры. Лазеры на самоограниченных переходах.
13. Системы сжатия импульсов.
14. Полупроводниковые лазеры.
15. Жидкостные лазеры на основе неорганических жидких сред и на органических красителях.

16. Твердотельные лазеры. Лазеры на ИАГ и на стекле, активированном неодимом.
17. Применения лазеров: лазерные системы связи.
18. Применения лазеров: доплеровские измерители скорости и локации.
19. Применения лазеров: использование лазеров в технологии, медицине и информационных системах.
20. Лазерная спектроскопия.
21. Лазерно-плазменные источники рентгеновского излучения.
22. Лазерный термоядерный синтез.

Примеры экзаменационных билетов:

Билет 1.

1. Трехуровневая и четырехуровневая схемы лазерной генерации.
2. Использование сверхсильного лазерного излучения для ускорения частиц и генерации высоких гармоник.

Билет 2.

1. Моды оптических резонаторов.
2. Лазерный термоядерный синтез.

Билет 3.

1. Основные типы газовых лазеров.
2. Правило "ABCD".

Билет 4.

1. Частотный состав излучения лазеров.
2. Устройство и принцип работы полупроводниковых лазеров.

Билет 5.

1. Эксимерные лазеры.
2. Применение лазеров в медицине.

#### Критерии оценивания

Оценка «отлично (10)» выставляется обучающемуся, если он показал глубокие, всесторонние и систематизированные знания в полном объеме учебной программы курса, широкую эрудицию в этой области, умение уверенно применять полученные знания при решении конкретных задач, ответил на все вопросы и каким-либо способом проявил свою неординарность (например, основательные дополнительные знания по какому-то вопросу, слабо освещенному на лекциях);

оценка «отлично (9)» выставляется обучающемуся, если он показал глубокие и систематизированные знания в почти полном объеме учебной программы дисциплины, хорошую эрудицию в этой области, умение применять полученные знания при решении конкретных задач и ответил почти на все вопросы;

оценка «отлично (8)» выставляется обучающемуся, если он показал основательные знания в объеме большей части программы курса, неплохую эрудицию в этой области, умение применять (пусть не сразу, а после размышления) полученные знания при решении конкретных типовых задач и ответил на большую часть вопросов;

оценка «хорошо (7)» выставляется обучающемуся, если он продемонстрировал хорошие знания и понимание основ учебного курса, по существу грамотно излагает материал, иногда делая несущественные ошибки, умеет применять полученные знания при решении типовых задач, (не всегда сразу, либо после подсказки) допускает неточности в ответах или при решении задач, не ответил на значительную часть вопросов;

оценка «хорошо (6)» выставляется обучающемуся, если он продемонстрировал хорошие знания и неплохое понимание основ учебного курса, может изложить материал, но часто допускает ошибки, умеет применять полученные знания при решении типовых задач, только после размышлений или подсказки, допускает много неточностей и ошибок в ответах или при решении задач, ответил на меньшую часть вопросов;

оценка «удовлетворительно (4)» выставляется обучающемуся, если он знает лишь небольшую часть основного содержания учебной курса, допускает ошибки при изложении материала, часто грубые, не умеет без многих подсказок использовать полученные знания при решении типовых задач, не ответил на большинство вопросов и с трудом и очень плохо ответил на остальные вопросы;

оценка «удовлетворительно (3)» выставляется обучающемуся, если он имеет плохие знания по большей части основного содержания учебной курса, допускает грубые ошибки при изложении материала и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач, даже при подсказках, не ответил практически на все вопросы;

оценка «неудовлетворительно (2)» выставляется обучающемуся, если он не знает основное содержание учебной курса, не может правильно излагать материал, не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач и не ответил ни на один вопрос;

оценка «неудовлетворительно (1)» выставляется обучающемуся, если он совершенно не знает содержание учебной курса, не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач и не ответил ни на один вопрос.

оценка «зачтено» выставляется обучающемуся, если он продемонстрировал знание и базовых основ учебного курса и умеет применять полученные знания при решении типовых задач, пусть даже после размышлений или подсказки;

оценка «не зачтено» выставляется обучающемуся, если он не знает базовых основ содержания учебного курса и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

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

Экзамен проводится в устной форме по билетам. В каждом билете представлено два теоретических вопроса. При проведении экзамена обучающемуся предоставляется 30 минут на подготовку. Опрос обучающегося не должен превышать одного астрономического часа.