

**Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет  
им. Н.И. Лобачевского»**

Высшая школа общей и прикладной физики

---

УТВЕРЖДЕНО  
решением ученого совета ННГУ

протокол от  
«        »        20\_\_ г.

**Рабочая программа дисциплины**

Физика лазеров

---

Уровень высшего образования  
Бакалавриат

---

Направление подготовки / специальность  
03.03.02 - Физика

---

Направленность образовательной программы  
Фундаментальная физика

---

Форма обучения  
очная

---

Нижний Новгород

2021 год

## 1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.14, Физика лазеров относится к части ОПОП направления подготовки 03.03.02 Физика, формируемой участниками образовательных отношений.

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	
ПК-1: Способен выполнять научную работу в избранной области экспериментальных и (или) теоретических исследований с помощью современной приборной базы, сложного физического оборудования и информационных техн	ПК-1.1: Знания: ПК-1.2: Умения: ПК-1.3: Навыки:	ПК-1.1: Знать основные понятия, используемые в современной научной литературе для описания физических процессов в лазерах, современные подходы и уравнения, используемые для их описания; основные режимы генерации и усиления лазерного излучения. ПК-1.2: Уметь использовать методы физики лазеров (основные уравнения и способы их решения) для описания экспериментальных результатов. ПК-1.3: Владеть методами решения основных уравнений, используемых в физике лазеров	Собеседование и задачи (практические задания)
ПК-2: Способен применять в научно-исследовательской деятельности профессиональные знания и умения, полученные при освоении профильных дисциплин	ПК-2.1: Знания: ПК-2.2: Умения: ПК-2.3: Навыки:	ПК-2.1: Знать квантовые процессы взаимодействия фотона с двух-уровневой средой, основные механизмы уширения линии, условия появления в среде лазерного усиления и перехода усиления из линейного в насыщенный режим, условие порога генерации в открытом резонаторе, режимы лазерной генерации и основные методы их	Собеседование и задачи (практические задания)

		<p>реализации, способы селекции продольных, поперечных и поляризационных мод в открытом резонаторе, основные тепловые эффекты в лазерах и методы их подавления и компенсации.</p> <p>ПК-2.2: Уметь пользоваться феноменологическим подходом к описанию лазерных усилителей и генераторов для определения и оптимизации выходных параметров, в том числе с учетом квантовых шумов.</p> <p>ПК-2.3: Владеть навыками решения задач, основанных на полученных в ходе освоения дисциплины знаниях.</p>	
<p>ПК-3: Способен ставить и решать научно-инновационные задачи, применять результаты научных исследований в инновационной и проектной деятельности</p>	<p>ПК-3.1: Знания:</p> <p>ПК-3.2: Умения:</p> <p>ПК-3.3: Навыки:</p>	<p>ПК-3.1: Обладать необходимыми знаниями в области физики лазеров для решения научно-инновационных задач</p> <p>ПК-3.2: Уметь применять полученные знания по физике лазеров при реализации научно-исследовательских, научно-инновационных и практических проектов.</p> <p>ПК-3.3: Владеть навыками экспериментальной работы в области физики лазеров.</p>	<p>Собеседование и задачи (практические задания)</p>

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1. Трудоемкость дисциплины

	<b>очная</b>
<b>Общая трудоемкость</b>	<b>5</b>
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>180</b>
в том числе	
<b>аудиторные занятия (контактная работа):</b>	
- занятия лекционного типа	<b>24</b>
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	<b>24</b>
- КСР	<b>2</b>
<b>самостоятельная работа</b>	<b>70</b>
<b>Промежуточная аттестация</b>	<b>36</b>

	ЭКЗАМЕН
--	---------

### 3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе				
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них				Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Всего	
	очная	очная	очная	очная	очная	очная
Тема 1. Двухуровневая среда	7	1	1	1	3	4
Тема 2. Спонтанные и вынужденные переходы. Коэффициенты Эйнштейна.	7	1	1	1	3	4
Тема 3 Ширина линии и время жизни.	10	2	2	2	6	4
Тема 4. Сечение перехода, инверсия населенностей.	10	2	2	2	6	4
Тема 5. Накачка. Интенсивность насыщения	12	2	2	2	6	6
Тема 6. Коэффициент усиления и шумы усилителя	12	2	2	2	6	6
Тема 7. Открытые резонаторы.	12	2	2	2	6	6
Тема 8. Стационарная генерация.	12	2	2	2	6	6
Тема 9. Релаксационные колебания и свободная генерация. Модуляция добротности.	12	2	2	2	6	6
Тема 10. Синхронизация мод и ультракороткие лазерные импульсы	12	2	2	2	6	6
Тема 11. Селекция продольных, поперечных, поляризационных мод.	12	2	2	2	6	6
Тема 12. Термооптика твердотельных лазеров	12	2	2	2	6	6
Тема 13. Типы лазеров	12	2	2	2	6	6
Аттестация	36					

КСР	2				2	
Итого	180	24	24	24	74	70

Практические занятия (семинарские занятия /лабораторные работы) организуются, в том числе в форме практической подготовки, которая предусматривает участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

Практическая подготовка предусматривает:

Разбор решения задач различной степени сложности, проведение обсуждения рассматриваемых проблем в свете последних научных достижений в соответствующей области знаний. Студенты работают как индивидуально, так и коллективно.

На проведение практических занятий (семинарских занятий /лабораторных работ) в форме практической подготовки отводится 6 ч.

Практическая подготовка направлена на формирование и развитие:

- практических навыков в соответствии с профилем ОП:

Применение знаний и умений при решении научно-исследовательских задач профессиональной деятельности

- компетенций:

ПК-1: Способен выполнять научную работу в избранной области экспериментальных и (или) теоретических исследований с помощью современной приборной базы, сложного физического оборудования и информационных технологий;

ПК-2: Способен применять в научно-исследовательской деятельности профессиональные знания и умения, полученные при освоении профильных дисциплин;

ПК-3: Способен ставить и решать научно-инновационные задачи, применять результаты научных исследований в инновационной и проектной деятельности

Текущий контроль успеваемости реализуется в рамках: занятий семинарского типа, занятий лабораторного типа, групповых консультаций, индивидуальных консультаций.

#### **4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся**

Контрольные вопросы и задания для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведены в п. 5.2.

### **5. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю), включающий:**

#### **5.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине**

<b>Уровень</b>	<b>Шкала оценивания сформированности компетенций</b>
----------------	--

сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено		зачтено				
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала.  Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки.	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибки.	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько незначительных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений . Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения.  Имели место грубые ошибки.	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания но не в полном объеме.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными незначительными недочетами, выполнены все задания в полном объеме.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие владения материалом . Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки.  Имели место грубые ошибки.	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки  при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки  при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.	Продemonстрированы навыки  при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

	ответа						
--	--------	--	--	--	--	--	--

### Шкала оценки при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	Превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне, выше предусмотренного программой
	Отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично»
	Очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо»
	Хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо»
	Удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	Неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»
	Плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

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

(согласно оценочным средствам табл.2)

### Перечень лабораторных работ, выполняемых при освоении дисциплины<sup>1</sup>:

1. Термонаведенные поляризационные искажения оптического излучения в элементах лазеров с высокой средней мощностью.
2. Наблюдение спектра излучения гелий-неонового лазера при помощи трёхзеркального кольцевого резонатора.
3. Низкочастотные процессы в многомодовом твердотельном лазере.

### Теоретические вопросы для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины:

<sup>1</sup> Лабораторные работы выполняются студентами в соответствии с графиком выполнения работ, разрабатываемым преподавателем.

- 1) Переходы в атоме под действием электромагнитного излучения. Спонтанные и вынужденные переходы. Коэффициенты Эйнштейна.
- 2) Однородное и неоднородное уширение спектральных линий. Механизмы уширения и форма спектральных линий.
- 3) Эффект насыщения усиления и поглощения. Сечение перехода. Интенсивность насыщения.
- 4) Коэффициент усиления непрерывного усилителя. Коэффициент усиления импульсного усилителя. Формула Франца-Нодвига.
- 5) Понятие об открытом резонаторе. Моды и условие самовозбуждения открытого резонатора.
- 6) Стационарная генерация. Оптимальный коэффициент отражения зеркала (резонатор Фабри-Перо и кольцевой резонатор).
- 7) Уравнение для разности населенностей для 3-х-уровневой и 4-х-уровневой модели. Выходная мощность непрерывного генератора.
- 8) Уравнение для интенсивности поля в резонаторе. Время установления стационарного режима и релаксационная частота для 3х уровневой и 4х-уровневой модели. Свободная генерация.
- 9) Модуляция добротности: идея, уравнения, оптимальный коэффициент отражения выходного зеркала, длительность импульса, методы реализации.
- 10) Генерация на двух и более продольных модах. Синхронизация мод: идея, уравнения, параметры выходного излучения. Ультракороткие лазерные импульсы: генерация, усиление, диагностика.
- 11) Понятие об импульсно-периодическом режиме. Термооптика твердотельных лазеров.
- 12) Селекция мод: продольных, поперечных, поляризационных. Подавление двунаправленной генерации в кольцевом резонаторе.
- 13) Газовые лазеры (в том числе химические, фотодиссоционные эксимерные и т.д.). Твердотельные лазеры. Лазеры на красителях. Полупроводниковые лазеры.

**Типовые задачи для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины:**

Задача 1.1. Для двухуровневой среды в термодинамическом равновесии найти температуру, при которой вероятности спонтанных и вынужденных переходов равны на длине волны 500нм, а также длину волны, при которой эти вероятности равны при температуре 4000К.

Задача 1.2. Найти максимальную интенсивность в непрерывном усилителе при наличии нерезонансных потерь  $\beta$ .

Задача 1.3. Найти выражения для запасенной энергии в усилителе, имеющем коэффициент усиления по слабому сигналу для трех- и четырехуровневых моделей.

Задача 2.1. Импульсный усилитель накачивается в течении времени  $t_{\text{pump}}$ , время жизни  $\tau_{21}$ . Найти зависимость КПД по накачке (отношение запасенной к моменту  $t_{\text{pump}}$  энергии к энергии импульса накачки) от  $t_{\text{pump}}$

Задача 2.2. В симметричном, близком к плоскому резонаторе ( $R_1=R_2=R \gg l$ ) найти приближенное выражение диаметров моды в перетяжке и на зеркалах. Вычислить эти диаметры для аргонового лазера ( $\lambda=514\text{нм}$ ) с длиной резонатора  $l=1\text{м}$ ,  $R=8\text{м}$  и сравнить их со случаем конфокального резонатора той же длины.

Задача 3.1. Генератор работает в непрерывном режиме при накачке пятикратно превышающей порог. Коэффициенты отражения зеркал  $R$  и  $R_1$ . Найти значение коэффициента усиления за проход.

Задача 3.2. Внутррезонаторный эталон Фабри-Перо имеет длину 12мм и  $R_F=0.5$ . Длина обхода резонатора 1м, длина волны 1микрон. При случайном расположении мод резонатора найти вероятность двухмодовой генерации. Критерием считать отношение потерь за обход резонатора для двух мод равное 0.99.



## **6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)**

а) основная литература:

1. Карлов Н.В. Лекции по квантовой электронике. - М., Наука, 1983, 319 с. -63 экз.
2. Ярив А. Квантовая электроника. - М., Сов. Радио, 1980, 488 с. -95 экз.

б) дополнительная литература:

1. П.Г.Крюков. Фемтосекундные импульсы. Москва: Физматлит, 2008. -208 с. -3 экз.
2. С.А.Ахманов, В.А.Выслоух, А.С.Чиркин, Оптика фемтосекундных лазерных им-пульсов.- М. Наука, 1988. -309 с. -3 экз.

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины)

- 1) The Encyclopedia of Laser Physics and Technology, Rüdiger Paschotta <https://www.rp-photonics.com/encyclopedia.html>

## **7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)**

Помещения представляют собой учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных программой, оснащенные оборудованием и техническими средствами обучения: Для проведения лекций и практических занятий требуется типовое оборудование лекционной аудитории.

Для подготовки самостоятельных контрольных работ и для их графического представления (если это необходимо), а также для расширения коммуникационных возможностей студенты имеют возможность работать в компьютерных классах с соответствующим лицензионным программным обеспечением и выходом в Интернет.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению 03.03.02 - Физика.

Автор(ы): Е.А. Хазанов, И.Л. Снетков

Заведующий кафедрой:

Программа одобрена на заседании методической комиссии  
ВШОПФ от 30.06.2021, протокол № 3.