

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**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 № 13 от 30.11.2022 г.

**Рабочая программа дисциплины**

Основы нелинейной оптики

---

Уровень высшего образования  
Магистратура

---

Направление подготовки / специальность  
03.04.02 – Физика

---

Направленность образовательной программы  
Общая и прикладная физика

---

Форма обучения  
Очная

---

Нижний Новгород

2023 год начала подготовки

## 1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.ДВ.01.01.01 «Основы нелинейной оптики» относится к части ООП направления подготовки 03.04.02 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	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
ПК-1. Способен самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего российского и зарубежного опыта	ПК-1.1: Демонстрация способности самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего российского и зарубежного опыта	ПК-1.1: Знать: основные физические механизмы возникновения оптических нелинейностей различных материалов, основные физические явления нелинейной оптики (генерацию гармоник, параметрический распад и генерацию разностной частоты, вынужденное рассеяние, нелинейные взаимодействия 2-х и 4-х световых волн, самовоздействие световых пучков). Уметь: использовать знания основных нелинейно-оптических эффектов для оценки их появления и величины в различных экспериментах. Владеть: навыками расчёта основных параметров нелинейно-оптических эффектов (коэффициентов оптической нелинейности, инкрементами вынужденного рассеяния, порогов самовоздействия световых пучков).	Задачи	Задачи Собеседование

ПК-3. Способен свободно владеть разделами физики, необходимыми для решения научноинновационных задач, и применять результаты научных исследований в инновационной и проектной деятельности	ПК-3.1: Демонстрация способности свободно владеть разделами физики, необходимыми для решения научноинновационных задач, и применять результаты научных исследований в инновационной и проектной деятельности	ПК-3.1: Обладать знаниями по нелинейной оптике, необходимыми для решения научно-инновационных задач Уметь свободно применять полученные знания по нелинейной оптике для решения научно-инновационных задач, связанных с созданием не-линейно-оптических приборов и устройств, применяемых в лазерной физике и других разделах науки и техники. Владеть: методами описания нелинейно-оптических эффектов и навыками расчёта этих эффектов, которые могут проявляться в различных лазерных системах и приборах.	Задачи	Задачи Собеседование
--	--	---	--------	-------------------------

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1 Трудоемкость дисциплины

	<b>очная</b>
<b>Общая трудоемкость</b>	<b>3</b>
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>108</b>
в том числе	
<b>аудиторные занятия (контактная работа):</b>	
- занятия лекционного типа	<b>32</b>
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	<b>16</b>
- КСР	<b>2</b>
<b>самостоятельная работа</b>	<b>22</b>
<b>Промежуточная аттестация</b>	<b>36</b> <b>экзамен</b>

#### 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. Физические причины и основные механизмы оптической нелинейности.	9	4	2	0	6	3
Тема 2. Основные приближения теории нелинейно-оптических взаимодействий световых волн.	9	4	2	0	6	3
Тема 3. Удвоение частоты световых волн в нелинейной среде, генерация суммарной и разностной частот.	9	4	2	0	6	3
Тема 4. Параметрическая генерация света в средах с квадратичной нелинейностью.	9	4	2	0	6	3
Тема 5. Вынужденное рассеяние световых волн.	9	4	2	0	6	3
Тема 6. Четырёхволновое взаимодействие световых пучков в нелинейной среде и динамическая голография.	11	6	2	0	8	3
Тема 7. Самовоздействие световых пучков.	14	6	4	0	10	4
Аттестация	36					
КСР	2				2	
Итого	108	32	16	0	50	22

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

Для самостоятельной работы обучающимся предлагается использовать основную и дополнительную литературу и/или электронные Интернет-ресурсы.

#### 5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

**5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:**

### 5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ПК-1

Задача 1. Найти волновое число 2-ой гармоники при ео-е синхронизме в электроотрицательном кристалле, если известна частота исходной волны и направление её распространение. Написать уравнение, определяющее оптимальное (для генерации 2-ой гармоники) направление распространения волн

Задача 2. Вывести соотношение определяющее величину изменения частоты двухрезонаторного ПГС при малом изменении длины резонатора.

Задача 3. Решить задачу о нелинейном режиме попутного стационарного вынужденного рассеяния света на звуке (вынужденного рассеяния Мандельштамма-Бриллюэна).

Задача 4. Решить задачу о нелинейном режиме попутного стационарного вынужденного температурного рассеяния. Поглощением световых волн пренебречь.

Задача 5. Решить задачу о нелинейном режиме стационарного вынужденного комбинационного (Рамановского) рассеяния назад.

Задача 6. Решить задачу о параметрической связи стоксовых и антистоксовых компонент при вынужденном комбинационном рассеянии света. Найти направления распространений стоксовой и антистоксовой волн, для которых связь наибольшая.

Задача 7. В среде с кубичной стрикционной нелинейностью распространяются навстречу друг другу два пучка равной интенсивности. Определить условие, при котором световая волна распространяющаяся под малым углом (к одной из сильных волн) будет иметь коэффициент нелинейного отражения (за счёт стационарного четырёхволнового взаимодействия), стремящийся к бесконечности (поглощения нет, толщина слоя среды и коэффициент теплового изменения показателя преломления заданы, исходные встречные волны между собой не взаимодействуют).

### 5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ПК-3

Задача 8. Доказать, что при самофокусировке световых пучков (при импульсах малой длительности) в нелинейной среде могут распространяться в противоположных направлениях два фокальных пятна.

Задача 9. Вывести основные соотношения для эволюции радиуса пучка и радиуса кривизны в теории стационарной самофокусировки в безабберационном приближении. Как измениться картина самофокусировки, если мощность светового пучка линейно растёт во времени.

Задача 10. В среде с кубичной тепловой нелинейностью распространяются навстречу друг другу два пучка равной интенсивности. Определить условие, при котором световая волна распространяющаяся под малым углом (к одной из сильных волн) будет иметь коэффициент нелинейного отражения (за счёт стационарного четырёхволнового взаимодействия), стремящийся к бесконечности (поглощения нет, толщина слоя среды и коэффициент теплового изменения показателя преломления заданы, исходные встречные волны между собой не взаимодействуют).

Задача 11. Для создания эффективного генератора 2-ой гармоники (зелёного света) определить направление распространения обыкновенной волны в кристалле, при котором происходит оптимальная генерация второй гармоники в условиях оо-е синхронизма и ео-е синхронизма. Считать, что  $n_o(\omega)=1.5$ ,  $n_e(\omega)=1.45$ ,  $n_e(2\omega)=1.49$ ,  $n_o(2\omega)=1.53$ .

**Задача 12.** Для создания ОВФ-зеркала определить сдвиг частоты обратного вынужденного рассеяния Мандельштама-Бриллюэна (ВРМБ) и ВРМБ под углом  $90^\circ$  к направлению распространения исходной волны (с длиной волны 1,064 мкм) в жидкости со скоростью звука 1.5 км/с. Как изменится результата, если рассеяние происходит в струе жидкости, распространяющейся под углом  $60^\circ$  к направлению распространения исходной волны?

**Задача 13.** Оценить возможность создания ОВФ-зеркала за счёт четырёхволнового смешения в среде с тепловой нелинейностью. Определить период тепловой динамической голограммы, обеспечивающей обращение волнового фронта световой волны при вырожденном четырехволновом взаимодействии. Рассмотреть все возможные решётки (голограммы с разным пространственным периодом).

**Задача 14.** Оценить возможность создания эффективного генератора терагерцового излучения на длине волны 100 мкм при генерации разностной частоты в нелинейной среде. В качестве накачки взять излучения лазера на длине волны 1064 нм. Оценить максимальный коэффициент преобразования (по энергии) исходного сильного светового пучка излучения лазера на длине волны 1064 нм в пучок терагерцового излучения (на длине волны 100 мкм).

**Задача 15.** Для создания эффективного параметрического генератора света (ПГС) среднего ИК диапазона определить длины волн сигнальной и холостой волны при заданной длине волны накачки (нарисовать перестроечную кривую) в электроположительном нелинейном кристалле в условиях о-ее синхронизма.

**Задача 16.** Рассчитать выходную мощность сигнальной волны в двухрезонаторном параметрическом генераторе с коэффициентом отражения зеркал: входное – глухое на сигнальную и холостую волны, выходное – с коэффициентом отражения  $R_c$  на сигнальную волну, и  $R_x$  - на холостую. Пучок накачки имеет заданную интенсивность (истощением накачки пренебречь), задана длина нелинейной среды и коэффициент нелинейности.

### Критерии оценивания (оценочное средство - Задачи)

Оценка		Критерии оценивания
Зачтено	Превосходно	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов. Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач.
	Отлично	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок. Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме. Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.
	Очень хорошо	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами. Продемонстрированы базовые навыки при решении

Оценка		Критерии оценивания
		стандартных задач без ошибок и недочетов.
	Хорошо	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами. Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.
	Удовлетворительно	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибки. Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания но не в полном объеме. Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами.
Не зачтено	Неудовлетворительно	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки.
	Плохо	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа. Отсутствие минимальных умений . Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа. Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа.

## 5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

### Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	Плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено		Зачтено				
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического	Уровень знаний ниже минимальных	Минимально допустимы	Уровень знаний в объеме,	Уровень знаний в объеме,	Уровень знаний в объеме,	Уровень знаний в объеме,

	материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	требований. Имели место грубые ошибки	й уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок	соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.	превышающую 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	Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие базовых навыков. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

### Шкала оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
Зачтено	<b>превосходно</b>	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
	<b>Отлично</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	<b>очень хорошо</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	<b>Хорошо</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
	<b>Удовлетворительно</b>	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».
	Плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

### 5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации

#### 5.3.2 Типовые задания, выносимые на промежуточную аттестацию:

##### Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ПК-1

Задача 1. Найти волновое число 2-ой гармоники при ео-е синхронизме в электроотрицательном кристалле, если известна частота исходной волны и направление её распространение. Написать уравнение, определяющее оптимальное (для генерации 2-ой гармоники) направление распространения волн

Задача 2. Вывести соотношение определяющее величину изменения частоты двухрезонаторного ПГС при малом изменении длины резонатора.

Задача 3. Решить задачу о нелинейном режиме попутного стационарного вынужденного рассеяния света на звуке (вынужденного рассеяния Мандельштамма-Бриллюэна).

Задача 4. Решить задачу о нелинейном режиме попутного стационарного вынужденного температурного рассеяния. Поглощением световых волн пренебречь.

Задача 5. Решить задачу о нелинейном режиме стационарного вынужденного комбинационного (Рамановского) рассеяния назад.

Задача 6. Решить задачу о параметрической связи стоксовых и антистоксовых компонент при вынужденном комбинационном рассеянии света. Найти направления распространений стоксовой и антистоксовой волн, для которых связь наибольшая.

Задача 7. В среде с кубичной стрикционной нелинейностью распространяются навстречу друг другу два пучка равной интенсивности. Определить условие, при котором световая волна распространяющаяся под малым углом (к одной из сильных волн) будет иметь коэффициент нелинейного отражения (за счёт стационарного четырёхволнового взаимодействия), стремящийся к бесконечности (поглощения нет, толщина слоя среды и коэффициент теплового изменения показателя преломления заданы, исходные встречные волны между собой не взаимодействуют).

##### Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ПК-3

Задача 8. Доказать, что при самофокусировке световых пучков (при импульсах малой длительности) в нелинейной среде могут распространяться в противоположных направлениях два фокальных пятна.

Задача 9. Вывести основные соотношения для эволюции радиуса пучка и радиуса кривизны в теории стационарной самофокусировки в безабберационном приближении. Как измениться картина самофокусировки, если мощность светового пучка линейно растёт во времени.

**Задача 10.** В среде с кубической тепловой нелинейностью распространяются навстречу друг другу два пучка равной интенсивности. Определить условие, при котором световая волна распространяющаяся под малым углом (к одной из сильных волн) будет иметь коэффициент нелинейного отражения (за счёт стационарного четырёхволнового взаимодействия), стремящийся к бесконечности (поглощения нет, толщина слоя среды и коэффициент теплового изменения показателя преломления заданы, исходные встречные волны между собой не взаимодействуют).

**Задача 11.** Для создания эффективного генератора 2-ой гармоники (зелёного света) определить направление распространения обыкновенной волны в кристалле, при котором происходит оптимальная генерация второй гармоники в условиях оо-е синхронизма и ео-е синхронизма. Считать, что  $n_o(\omega)=1.5$ ,  $n_e(\omega)=1.45$ ,  $n_e(2\omega)=1.49$ ,  $n_o(2\omega)=1.53$ .

**Задача 12.** Для создания ОВФ-зеркала определить сдвиг частоты обратного вынужденного рассеяния Мандельштама-Бриллюэна (ВРМБ) и ВРМБ под углом  $90^\circ$  к направлению распространения исходной волны (с длиной волны 1,064 мкм) в жидкости со скоростью звука 1.5 км/с. Как изменится результата, если рассеяние происходит в струе жидкости, распространяющейся под углом  $60^\circ$  к направлению распространения исходной волны?

**Задача 13.** Оценить возможность создания ОВФ-зеркала за счёт четырёхволнового смешения в среде с тепловой нелинейностью. Определить период тепловой динамической голограммы, обеспечивающей обращение волнового фронта световой волны при вырожденном четырехволновом взаимодействии. Рассмотреть все возможные решётки (голограммы с разным пространственным периодом).

**Задача 14.** Оценить возможность создания эффективного генератора терагерцового излучения на длине волны 100 мкм при генерации разностной частоты в нелинейной среде. В качестве накачки взять излучения лазера на длине волны 1064 нм. Оценить максимальный коэффициент преобразования (по энергии) исходного сильного светового пучка излучения лазера на длине волны 1064 нм в пучок терагерцового излучения (на длине волны 100 мкм).

**Задача 15.** Для создания эффективного параметрического генератора света (ПГС) среднего ИК диапазона определить длины волн сигнальной и холостой волны при заданной длине волны накачки (нарисовать перестроечную кривую) в электроположительном нелинейном кристалле в условиях о-ее синхронизма.

**Задача 16.** Рассчитать выходную мощность сигнальной волны в двухрезонаторном параметрическом генераторе с коэффициентом отражения зеркал: входное – глухое на сигнальную и холостую волны, выходное – с коэффициентом отражения  $R_c$  на сигнальную волну, и  $R_x$  - на холостую. Пучок накачки имеет заданную интенсивность (истощением накачки пренебречь), задана длина нелинейной среды и коэффициент нелинейности.

### Критерии оценивания (оценочное средство - Задачи)

Оценка	Критерии оценивания
Превосходно	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов. Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач.

Оценка	Критерии оценивания
Отлично	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок. Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме. Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.
Очень хорошо	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами. Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.
Хорошо	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами. Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.
Удовлетворительно	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибки. Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания но не в полном объеме. Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами.
Неудовлетворительно	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки.
Плохо	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа. Отсутствие минимальных умений . Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа. Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа.

### Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ПК-1

1. Основные механизмы оптической нелинейности сред: тепловая, стрикционная, ориентационная, электронная, насыщение резонансного перехода.
2. Тензор нелинейно-оптической восприимчивости. Классификация нелинейно-оптических эффектов.
3. Условия волнового синхронизма в нелинейной оптике, необходимость их выполнения

для реализации нелинейно-оптических эффектов.

4. Уравнения для связанных волн в среде с квадратичной нелинейностью. Взаимодействие трёх световых волн в средах с квадратичной нелинейностью.
5. Принципы нелинейно-оптического удвоения частоты световых волн (условия синхронизма, интенсивность второй гармоники, нелинейные среды для удвоения частоты).
6. Генерация суммарной частоты в нелинейно-оптической среде. Соотношения Мэнли-Роу. Режим насыщения при генерации суммарной частоты.
7. Генерация разностной частоты в нелинейно-оптической среде. Предельные возможности преобразования мощности исходных волн в мощность на разностной частоте.
8. Параметрическое усиление и параметрическая генерация. Виды параметрических генераторов света. Их отличительные особенности.
9. Основные физические механизмы вынужденного рассеяния света. Вынужденное рассеяние световых волн: стартовые условия и причины лавинного нарастания волны рассеяния.
10. Стационарный и нестационарный режимы вынужденного рассеяния световых волн. Сдвиг частоты и ширина линии волн рассеяния.
11. Вынужденное рассеяние света на звуке и релеевское рассеяние с малым сдвигом частоты. Основные закономерности и режимы.
12. Особенности вынужденного комбинационного рассеяния световых волн. Взаимодействие стоксовых и антистоксовых компонент при вынужденном комбинационном рассеянии.
13. Эффект обращения волнового фронта световых пучков в нелинейной среде (суть эффекта и основные возможности его реализации). Обращение волнового фронта световых пучков при вынужденном рассеянии
14. Четырёхволновое взаимодействие световых волн (условия синхронизма и возможные следствия). Динамическая голография. Обращение волнового фронта при четырёхволновом взаимодействии.
15. Эффект самовоздействия световых пучков в нелинейной среде. Самофокусировка и самодефокусировка световых пучков (условия возникновения и режимы протекания).
16. Неустойчивость плоской волны в нелинейной среде и её связь с самофокусировкой (самодефокусировкой) световых пучков.
17. Основные сферы использования нелинейной оптики в лазерных приборах и устройствах.
18. Нелинейно-оптические преобразования частоты световых пучков как средство создания лазерных источников в плохо-освоенных спектральных диапазонах (ультрафиолетовом, среднем и дальнем инфракрасном).
19. Использование статической и динамической голографии.
20. Использование эффекта обращения волнового фронта для создания мощных лазерных систем с высоким качеством пучка излучения.
21. Использование или методы предотвращения эффектов самовоздействия световых волн в лазерных системах.
22. Нелинейно-оптические эффекты в волоконно-лазерных системах. Особенности проявления эффектов вынужденного рассеяния и самовоздействия световых волн в одномодовых световодах.

### **Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ПК-3**

1. Основные механизмы оптической нелинейности сред: тепловая, стрикционная, ориентационная, электронная, насыщение резонансного перехода.
2. Тензор нелинейно-оптической восприимчивости. Классификация нелинейно-оптических

эффектов.

3. Условия волнового синхронизма в нелинейной оптике, необходимость их выполнения для реализации нелинейно-оптических эффектов.
4. Уравнения для связанных волн в среде с квадратичной нелинейностью. Взаимодействие трёх световых волн в средах с квадратичной нелинейностью.
5. Принципы нелинейно-оптического удвоения частоты световых волн (условия синхронизма, интенсивность второй гармоники, нелинейные среды для удвоения частоты).
6. Генерация суммарной частоты в нелинейно-оптической среде. Соотношения Мэнли-Роу. Режим насыщения при генерации суммарной частоты.
7. Генерация разностной частоты в нелинейно-оптической среде. Предельные возможности преобразования мощности исходных волн в мощность на разностной частоте.
8. Параметрическое усиление и параметрическая генерация. Виды параметрических генераторов света. Их отличительные особенности.
9. Основные физические механизмы вынужденного рассеяния света. Вынужденное рассеяние световых волн: стартовые условия и причины лавинного нарастания волны рассеяния.
10. Стационарный и нестационарный режимы вынужденного рассеяния световых волн. Сдвиг частоты и ширина линии волн рассеяния.
11. Вынужденное рассеяние света на звуке и релеевское рассеяние с малым сдвигом частоты. Основные закономерности и режимы.
12. Особенности вынужденного комбинационного рассеяния световых волн. Взаимодействие стоксовых и антистоксовых компонент при вынужденном комбинационном рассеянии.
13. Эффект обращения волнового фронта световых пучков в нелинейной среде (суть эффекта и основные возможности его реализации). Обращение волнового фронта световых пучков при вынужденном рассеянии
14. Четырёхволновое взаимодействие световых волн (условия синхронизма и возможные следствия). Динамическая голография. Обращение волнового фронта при четырёхволновом взаимодействии.
15. Эффект самовоздействия световых пучков в нелинейной среде. Самофокусировка и самодефокусировка световых пучков (условия возникновения и режимы протекания).
16. Неустойчивость плоской волны в нелинейной среде и её связь с самофокусировкой (самодефокусировкой) световых пучков.
17. Основные сферы использования нелинейной оптики в лазерных приборах и устройствах.
18. Нелинейно-оптические преобразования частоты световых пучков как средство создания лазерных источников в плохо-освоенных спектральных диапазонах (ультрафиолетовом, среднем и дальнем инфракрасном).
19. Использование статической и динамической голографии.
20. Использование эффекта обращения волнового фронта для создания мощных лазерных систем с высоким качеством пучка излучения.
21. Использование или методы предотвращения эффектов самовоздействия световых волн в лазерных системах.
22. Нелинейно-оптические эффекты в волоконно-лазерных системах. Особенности проявления эффектов вынужденного рассеяния и самовоздействия световых волн в одномодовых световодах.

### **Критерии оценивания (оценочное средство - Собеседование)**

Оценка	Критерии оценивания
--------	---------------------

Оценка	Критерии оценивания
Превосходно	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов. Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач.
Отлично	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок. Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме. Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.
Очень хорошо	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами. Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.
Хорошо	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами. Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.
Удовлетворительно	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибки. Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания но не в полном объеме. Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами.
Неудовлетворительно	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки.
Плохо	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа. Отсутствие минимальных умений . Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа. Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа.

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

а) основная литература:

1. Ярив А. "Квантовая электроника": Пер. с англ. / Под ред. Я.И. Ханина, Изд. Наука, 1980. - 448 с. -95 экз.
2. С.А. Ахманов, Ю.Е. Дьяков, А.С. Чиркин, "Введение в статистическую радиофизику и оптику", Москва Изд. МГУ, 1989. -640 с. -21 экз.
3. Бломберген Н. "Нелинейная оптика", Москва: Изд. Мир, 1966.-424 с. -15 экз.

б) дополнительная литература:

1. Зельдович Б.Я., Пилипецкий Н.Ф., Шкунов В. В. "Обращение волнового фронта", Москва: Изд. Наука, 1985. -247 с. -4 экз.
2. Власов С.Н., Таланов В.И. "Самофокусировка световых волн", Изд. ИПФАН, 1986. (Деканат ВШОПФ) - 10 экз.
3. Беспалов В.И., Пасманик Г.А. "Нелинейная оптика и адаптивные лазерные системы", Изд. ИПФАН 1986. (Деканат ВШОПФ) - 10 экз.

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

- 1) Н.Н. Розанов. Нелинейная оптика. Часть I. Уравнения распространения излучения и нелинейный отклик среды. 2008 - Учебные издания Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики:  
[http://books.ifmo.ru/book/109/kogerentnaya\\_optika/\\_uchebnoe\\_posobie\\_po\\_kursu\\_«kogerentnaya\\_i\\_nelineynaya\\_optika»..htm](http://books.ifmo.ru/book/109/kogerentnaya_optika/_uchebnoe_posobie_po_kursu_«kogerentnaya_i_nelineynaya_optika»..htm)
- 2) Учебно-образовательная физико-математическая библиотека EqWorld  
<http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/physics/optics.htm>
- 3) Электронная библиотека Института космофизических исследований и астрономии им. Ю.Г. Шафера (ИКФИА)  
<http://ikfia.ysn.ru/lektsii-i-obzory-dlya-studentov/9-uncategorised/769-optika.html>

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

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения, компьютерами, специализированным оборудованием: 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 03.04.02 - Физика.

Автор(ы): О.Л. Антипов

Заведующий кафедрой: Господчиков Егор Дмитриевич, кандидат физико-математических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 30.06.2022 г., протокол № 3.