

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный
университет им. Н.И. Лобачевского»

Радиофизический факультет

УТВЕРЖДАЮ

Декан радиофизического факультета

_____ В.В. Матросов

“ ___ ” _____ 2021 г.

Рабочая программа дисциплины

Нелинейная оптика

Направление подготовки
03.06.01 "Физика и астрономия"

Направленность подготовки
01.04.21 "Лазерная физика"

Квалификация выпускника
Исследователь. Преподаватель-исследователь

Форма обучения

Очная

Нижегород
2021 г.

1. Место дисциплины в структуре основной профессиональной образовательной программы (ОПОП)

Дисциплина «Нелинейная оптика» относится к числу профессиональных дисциплин, является дисциплиной выбора и изучается на 2 году обучения в 3 семестре.

Содержание дисциплины направлено на усвоение аспирантами совокупности основных физических принципов, закономерностей и методов исследования, составляющих фундамент современной нелинейной физики. Цели и задачи дисциплины обусловлены необходимостью:

а) дать выпускникам аспирантуры научно обоснованные представления о широком круге нелинейных явлений в электродинамике (в резонансных средах, диэлектриках, ферритах и плазме), гидродинамике, химии и некоторых других областях науки и техники;

б) научить выпускников аспирантуры современным методам отыскания базисных (точных) решений нелинейных уравнений в частных производных, с помощью которых описываются разнообразные нелинейные эффекты и физические процессы.

В результате изучения дисциплины выпускник аспирантуры должен овладеть: знанием физической природы нелинейно-оптических свойств различных сред, находящихся под воздействием мощного лазерного излучения; а также основных принципов взаимодействия излучения со средой;

умением применять основные уравнения (законы) нелинейной оптики для решения конкретных физических задач;

основами современного математического аппарата отыскания базисных (многосолитонных) решений широкого класса нелинейных уравнений в частных производных (метод обратной задачи рассеяния, преобразования Бэклунда, Миуры и Хопфа-Хироты), описывающих многие нелинейные явления в электродинамике (ферриты, диэлектрики, полупроводники, резонансные среды, плазма), гидродинамике, химии и других областях науки и техники;

умением видеть на основе колебательно-волновой аналогии общее в нелинейных явлениях, происходящих в различных средах (распределённых системах), а также использовать для их описания соответствующий апробированный математический аппарат.

Освоение дисциплины обучающимися опирается на знания, умения, навыки и компетенции, которые должны иметь выпускники бакалавриата и магистратуры радиофизического факультета, получившие хорошую аттестацию на экзаменах по общим курсам физики, классической электродинамики, математического анализа, дифференциальных уравнений, аналитической геометрии и высшей алгебры, векторного и тензорного анализа. В результате освоения дисциплины обучающиеся приобретают существенный вклад в формирование компетенций (ПК-1; ПК-2), которые они должны иметь после окончания обучения в аспирантуре по направленности 01.04.21 – «Лазерная физика». Для формирования этих компетенций каждый приступивший к освоению дисциплины (как части программы аспирантуры) обучающийся

должен знать:

- 1) возможные сферы и направления научно-исследовательской деятельности в области лазерной физики; основные методы научно-исследовательской деятельности;
- 2) фундаментальные основы лазерной физики и специальных дисциплин; основные принципы и способы организации научного исследования в области лазерной физики;
- 3) основные подходы к интерпретации и оценке результатов научного исследования;

должен уметь:

1) выявлять и формулировать проблемы в области лазерной физики, исходя из этапов профессионального роста и требований развития науки; критически оценивать любую поступающую информацию, вне зависимости от источника, свои возможности, реалистичность и адекватность намеченных способов и путей достижения планируемых целей; избегать автоматического применения стандартных приемов в решении поставленных задач;

2) составлять план работы по заданной теме, анализировать получаемые результаты, составлять отчеты о научно-исследовательской работе;

3) критически оценивать полученную информацию; анализировать альтернативные варианты решения практических и исследовательских задач и оценивать их возможные выигрыши/проигрыши;

должен владеть:

1) навыками сбора, обработки, анализа и систематизации информации по теме исследования; навыками выбора методов и средств решения задач исследования, приемами оценки и самооценки результатов деятельности по решению профессиональных задач;

2) физическими и физико-математическими методами исследований в выбранной области лазерной физики; базовыми информационными и коммуникационными технологиями, применяемыми для проведения исследования в области лазерной физики для сбора теоретических и эмпирических данных, их анализа и представления полученных результатов;

3) базовыми методами теоретического анализа; базовыми приемами моделирования физических явлений и оценки полученных результатов.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения ОПОП (компетенциями выпускников)

Таблица 1

Планируемые результаты обучения по дисциплине

Код формируемой компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций
<p><i>ПК-1</i> – Способность выполнять научно-исследовательские работы и получать новые научные результаты в области лазерной физики в составе научной группы (базовый этап)</p>	<p><i>З1 Знать</i> Базовые разделы высшей математики, включая методы решения нелинейных уравнений в частных производных.</p> <p><i>З2 Знать</i> Базовые разделы теоретической и лазерной физики, включая законы взаимодействия интенсивного многочастотного излучения с веществом в консервативных диэлектриках с квадратичной и кубичной нелинейностями, в резонансных средах, в средах с наличием комбинационного рассеяния и рассеяния Мандельштама-Бриллюэна.</p> <p><i>У1 Уметь</i> Проводить основные математические преобразования и, в частности, расчёты направлений синхронизма в разных нелинейных кристаллах для создания экспериментальной возможности получения второй гармоники частоты лазерного излучения.</p> <p><i>У2 Уметь</i> Пользоваться основными измерительными приборами и, в частности, проводить измерения на экспериментальной установке обращения волнового фронта излучения лазера на стекле с примесью Nd^{3+} и на установке по измерению параметров тепловой линзы, образующейся в рабочем кристалле в процессе генерации рубинового лазера.</p> <p><i>В1 Владеть:</i> Современными теоретическими и экспериментальными методами исследований, включая методы отыскания базисных (точных) решений нелинейных уравнений в частных производных для описания распространения интенсивного электромагнитного излучения в различных средах (диэлектриках, плазме, ферритах и др.).</p> <p><i>В1 Владеть</i> Базовым уровнем английского языка и навыками использования ресурсов интернета для реализации возможности изучать наиболее свежие научно-технические достижения в области лазерной физики по рекомендованным публикациям иностранных и отечественных издательств, которые имеются в фонде и в Интернет-ресурсах (в znanium.com и в <i>электронной библиотеке</i>) ФБ ННГУ, с целью использования в своей и коллективной научной деятельности.</p>
<p><i>ПК-2</i> – Способность самостоя-</p>	<p><i>З1. Знать</i> Основы лазерной физики, включая вопросы генерации лазерного излучения, имеющего различные (спектральные, поляриза-</p>

<p>тельно ставить научные задачи и формулировать новые идеи в области лазерной физики (базовый этап)</p>	<p>ционные и энергетические) характеристики и формы пространственно-временной реализации, а также вопросы преобразования лазерного излучения с помощью разнообразных нелинейно-оптических устройств и применения лазерного излучения в научных исследованиях, технике и медицине.</p> <p><i>У1. Уметь</i> Выделять в научных текстах и систематизировать основные идеи с целью разработки новых лазерных систем и нелинейно-оптических устройств, обладающих экстремально высокими параметрами и характеристиками.</p> <p><i>В1. Владеть</i> Базовым уровнем английского языка и навыками использования ресурсов интернета для формирования фундаментального портфолио по выбранному направлению решения научной задачи с помощью анализа публикаций, представленных в фондах и в Интернет-ресурсах (в znanium.com и в <i>электронной библиотеке</i>) ФБ ННГУ</p>
---	--

3. Структура и содержание дисциплины «Нелинейная оптика»

Объем дисциплины составляет 3 зачетные единицы, всего 108 часов, из которых 36 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (занятия лекционного типа), 72 часа составляет самостоятельная работа обучающегося.

Структура дисциплины

Наименование раздела дисциплины	Всего, часов	В том числе					Самостоятельная работа обучающегося, часов
		Контактная работа, часов					
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Консультации	Всего	
1. Введение	6	2	-	-	-	2	4
Часть 1. Нелинейная оптика							
2. Трехчастотные взаимодействия в квадратичной среде	8	4	-	-	-	4	4
3. Четырехчастотные взаимодействия в кубической среде	6	2	-	-	-	2	4
4. Взаимодействие волн при вынужденном комбинационном рассеянии (ВКР) лазерного излучения	8	4	-	-	-	4	4
5. Взаимодействие волн лазерного излучения и звука при вынужденном рассеянии Мандельштама-Бриллюэна (ВРМБ)	6	2	-	-	-	2	4
6. Пучки в нелинейной оптике	6	2	-	-	-	2	4
7. Обращение волнового фронта (ОВФ) при отражении лазерного излучения от нелинейной среды	6	2	-	-	-	2	4
8. Двумерные лазерные пучки в активной резонансной среде с линейной диссипацией энергии	6	2	-	-	-	2	4
Часть 2. Солитоны – новое понятие в прикладных науках							
9. Солитонное решение уравнения Кортевега и де Вриза (КДВ)	6	2	-	-	-	2	4
10. Солитонное решение уравнения Синус-Гордон (СГ)	6	2	-	-	-	2	4
11. Солитонное решение нелинейного уравнения Шредингера (НУШ)	6	2	-	-	-	2	4
12. Самоиндуцированная прозрачность двухуровневой поглощающей среды	6	2	-	-	-	2	4
13. Стационарные световые импульсы в усиливающей резонансной среде при наличии линейного поглощения	6	2	-	-	-	2	4
14. Решение нелинейных уравнений методом обратной задачи рассеяния (ОЗР)	6	2	-	-	-	2	4
15. Решение нелинейных уравнений с помощью автопреобразования Бэклунда	6	2	-	-	-	2	4
16. Обзор новых методов отыскания точных решений нелинейных уравнений	6	2	-	-	-	2	4
Аттестация по дисциплине - зачет	8	-	-	-	-	-	8
Итого	108	36	-	-	-	36	72

Содержание дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела	Форма проведения занятия	Форма текущего контроля*
1	Введение	Основные свойства линейных и нелинейных сред. Диспергирующие и поглощающие среды. Физическая природа нелинейности, дисперсии и поглощения в электродинамике. Соотношения Крамера-Кронига. Закономерности образования гармоник в нелинейной среде с дисперсией.	занятия лекционного типа	-
Часть 1. Нелинейная оптика				
2	Трехчастотные взаимодействия в квадратичной среде.	Условия трехчастотного взаимодействия волн в квадратичной среде. Дисперсия и синхронизм. Описание трехволновых взаимодействий. Законы сохранения в среде без потерь. Соотношения Менли-Роу. Генерация второй гармоники. Взаимодействие волн в непоглощающей среде при точном синхронизме. Учет расстройки синхронизма. Влияние линейных потерь. Параметрические процессы в квадратичной среде. Параметрическое преобразование частоты вниз при высокочастотной накачке. Эффективность преобразования частоты вверх и вниз.	занятия лекционного типа	выборочная проверка одного из разделов портфолио, предоставленного проверяющему по электронной почте
3	Четырехчастотные взаимодействия в кубической среде.	Условия четырехчастотного взаимодействия. Основные уравнения четырехволнового взаимодействия. Первые интегралы уравнений в отсутствие диссипации (соотношения Менли-Роу). Генерация третьей гармоники в непоглощающей среде. Влияние эффекта Керра на коэффициент преобразования в третью гармонику.	занятия лекционного типа	выборочная проверка одного из разделов портфолио, предоставленного проверяющему по электронной почте
4	Взаимодействие волн при вынужденном комбинационном рассеянии (ВКР) лазерного излучения.	Физическая природа ВКР. Стоксово излучение. Основные уравнения процесса ВКР. Порог генерации. Законы сохранения в отсутствие диссипации. Вынужденное комбинационное рассеяние вперед. Преобразование энергии накачки в волну стоксова излучения при ВКР назад. Антискосово излучение.	занятия лекционного типа	выборочная проверка одного из разделов портфолио, предоставленного проверяющему по электронной почте
5	Взаимодействие волн лазерного излучения и звука при вынуж-	Физическая природа ВРМБ. Основные уравнения ВРМБ. Усиление стоксова излучения – трехча-	занятия лекционного типа	выборочная проверка одного из разделов портфо-

	денном рассеянии Мандельштама-Бриллюэна (ВРМБ).	стотное взаимодействие. Порог возбуждения. Законы сохранения в непоглощающей среде. Стоксово рассеяние вперед. Усиление стоксова излучения назад при ВРМБ. Основные уравнения. Законы сохранения. Расчет излучаемой мощности. Приближение заданного поля накачки.		лио, предоставленного проверяющему по электронной почте
6	Пучки в нелинейной оптике.	Преобразование частот в волновых пучках в квадратичной среде. Основные уравнения. Параметрическое приближение. Взаимодействие двух усиливаемых пучков при постоянной высокочастотной накачке. Уравнения одноволнового приближения. Дифракция усиливаемых волн и эффект аномальной фокусировки. Параметрическая диффузия.	занятия лекционного типа	-
7	Обращение волнового фронта (ОВФ) при отражении лазерного излучения от нелинейной среды.	ОВФ при четырехволновом взаимодействии (ЧВ) в кубичной среде. ОВФ при ВКР. ОВФ при ВРМБ.	занятия лекционного типа	-
8	Двумерные лазерные пучки в активной резонансной среде с линейной диссипацией энергии	Стационарные электромагнитные пучки в активной двухуровневой среде. Условия канализации светового пучка в резонансной среде с неоднородным распределением инверсии и неоднородным линейным поглощением. Свойства нелинейного волновода в однородно уширенной резонансной среде с однородным распределением инверсии и неоднородным линейным поглощением.	занятия лекционного типа	-
Часть 2. Солитоны – новое понятие в прикладных науках				
9	Солитонное решение уравнения Кортевега и де Вриза (КДВ).	Использование уравнения КДВ в физике. Основные свойства уравнения КДВ. Стационарные решения уравнения КДВ - кноидальные волны. Фазовая плоскость стационарных волн. Однопараметрическое семейство солитонных решений уравнения КДВ и его свойства: амплитуда, скорость распространения и пространственный масштаб уединённой волны.	занятия лекционного типа	выборочная проверка одного из разделов портфолио, предоставленного проверяющему по электронной почте
10	Солитонное решение уравнения Синус-Гордон (СГ).	Применение уравнения СГ в физике. Основные свойства уравнения СГ. Солитонное решение уравнения СГ и его основные свойства.	занятия лекционного типа	выборочная проверка одного из разделов портфолио, предостав-

		Стационарные решения уравнения СГ - осциллирующие и спиральные волны. Фазовая плоскость стационарных волн.		ленного проверяющему по электронной почте
11	Солитонное решение нелинейного уравнения Шредингера (НУШ).	Использование НУШ в физике. Основные свойства НУШ. Солитонное решение НУШ и его основные свойства. Стационарное решение НУШ. Фазовая плоскость стационарных волн.	занятия лекционного типа	выборочная проверка одного из разделов портфолио, предоставленного проверяющему по электронной почте
12	Самоиндуцированная прозрачность двухуровневой поглощающей среды.	Основные уравнения электромагнитного излучения в резонансной среде. Уравнения для медленных амплитуд коротких импульсов поля, поляризации и разности населённости уровней рабочего перехода резонансной (двухуровневой) среды. Основные свойства укороченных уравнений и их солитонное решение для поля на резонансной частоте. Свойства солитонного решения: амплитуда, скорость и длительность стационарного 2π -импульса.	занятия лекционного типа	-
13	Стационарные световые импульсы в усиливающей резонансной среде при наличии линейного поглощения.	Уравнения баланса для медленных амплитуд короткого импульса поля и разности населённости в активной двухуровневой среде. Солитонное решение уравнений баланса и его основные свойства: энергия, форма и скорость стационарного импульса.	занятия лекционного типа	-
14	Решение нелинейных уравнений методом обратной задачи рассеяния (ОЗР).	Решение стационарного уравнения Шредингера и определение спектральных данных его потенциала. Обратная спектральная задача – восстановление потенциала с помощью решения уравнения Гельфанда-Левитана-Марченко (ГМЛ). Постановка ОЗР на примере уравнения КДВ. Эволюция спектральных данных во времени. Примеры расчетов коэффициентов рассеяния и их эволюционных изменений. Примеры решений уравнений ГМЛ и нахождения многосолитонных решений уравнения КДВ. Понятие об LA-паре линейных операторов. Альтернативная версия ОЗР. LA-пары операторов уравнений КДВ и НУШ.	занятия лекционного типа	выборочная проверка одного из разделов портфолио, предоставленного проверяющему по электронной почте

15	Решение нелинейных уравнений с помощью автопреобразования Бэклунда.	Преобразования Бэклунда. Автопреобразование Бэклунда (АПБ) и постановка задачи об отыскании иерархической системы решений нелинейного уравнения. Диаграмма Лэмба. АПБ уравнения СГ и его многосолитонные решения. АПБ уравнения КДВ.	занятия лекционного типа	выборочная проверка одного из разделов портфолио, предоставленного проверяющему по электронной почте
16	Обзор новых методов отыскания точных решений нелинейных уравнений.	Преобразование Хопфа-Хироты. Преобразование Миуры и законы сохранения. Метод вариации параметров стационарных волн.	занятия лекционного типа	-

4. Образовательные технологии

Еженедельно текст прочитанной лекции и соответствующие вопросы для контроля текущей успеваемости из списка 5.4 рассылаются по электронной почте обучающимся для стимулирования самостоятельной внеаудиторной работы и создания личного **портфолио** по дисциплине «**Нелинейная оптика**».

5. Формы организации и контроля самостоятельной работы обучающихся

1. Еженедельный контроль посещаемости аудиторных занятий.

2. Как оценочный способ контроля самостоятельной работы аспирантов и одновременно разновидность интерактивного обучения используется форма выборочной проверки (в соответствии со **списком вопросов 5.4**) состояния отдельных частей индивидуального **портфолио** обучающегося не менее двух раз в течение семестра.

3. Трансляции по электронной почте на адреса всех аспирантов, изучающих дисциплину «**Нелинейная оптика**», ответа преподавателя на индивидуальный вопрос (по программе дисциплины) одного из обучающихся.

4. Список вопросов для контроля текущей успеваемости

Написать необходимые выражения и объяснить содержание следующих **понятий**:

1. **Нелинейность среды**. Сравнение свойств линейных нелинейных сред.
2. **Дисперсия** и **диссипация** среды. Влияние дисперсии и диссипации на распространение волн.
3. Природа **дисперсии** и **диссипации** среды в электродинамике. Соотношения Крамерса-Кронига.
4. Условия образования частотных гармоник в нелинейной диспергирующей среде.
5. **Квадратичная среда**. Условия и типы трехчастотного взаимодействия.
6. Законы сохранения в непоглощающей **квадратичной среде**.
7. Влияние **синхронизма** и граничных условий на процесс образования второй гармоники в **квадратичной среде** по двухволновой схеме $1^0 + 1^0 = 2^c$.
8. Параметрическое приближение трёхволнового взаимодействия при **низкочастотной накачке** в **квадратичной среде** (общая характеристика процесса).
9. Параметрическое приближение трёхволнового взаимодействия при **высокочастотной накачке** в **квадратичной среде** (общая характеристика процесса).
10. **Кубичная среда**. Условия и разновидности четырехчастотного взаимодействия.
11. Законы сохранения в непоглощающей **кубичной среде**.
12. Влияние **эффекта Керра** и **синхронизма** на эффективность процесса образования третьей гармоники в **кубичной среде**.
13. Природа **комбинационного рассеяния** и **вынужденное комбинационное рассеяние (ВКР)**

лазерного излучения.

14. Законы сохранения при **ВКР** лазерного излучения.
15. Сравнительная характеристика процессов образования **стоксова** излучения **вперёд и назад** при **ВКР** поля лазерной генерации.
16. Условия эффективной генерации **антистоксова** излучения при **ВКР** лазерного излучения.
17. Природа **рассеяния Мандельштама-Бриллюэна** и **вынужденное рассеяние Мандельштама-Бриллюэна (ВРМБ)**.
18. Законы сохранения при **ВРМБ** лазерного излучения и **гиперзвука**.
19. Сравнительная характеристика процессов образования **стоксова** излучения **вперёд и назад** при **ВРМБ** поля лазерной генерации и **гиперзвука** (при условии **синхронизма**).
20. **Обращение волнового фронта (ОВФ)** при четырехволновом взаимодействии (ЧВ) в нелинейной кубической среде.
21. Основные свойства **солитонного** решения **уравнения КдВ**.
22. Основные свойства **солитонного** решения **уравнения Синус-Гордон**.
23. Основные свойства **солитонного** решения **нелинейного уравнения Шрёдингера**.
24. **Самоиндуцированная прозрачность (СИ)** резонансной поглощающей среды (условия реализации **СИ**, основные параметры **солитонного** импульса и процесса его распространения).
25. Стационарный короткий импульс солитонного типа в активной резонансной среде (условия реализации, основные параметры **солитонного** импульса и процесса его распространения).
26. **Метод обратной задачи рассеяния (ОЗР)** – новый метод отыскания точных решений нелинейных уравнений в частных производных.
27. **Автопреобразование Бэклунда (АПБ)** – новый метод отыскания точных решений нелинейных уравнений в частных производных.

6. Фонд оценочных средств для аттестации по дисциплине

6.1. Перечень компетенций выпускников образовательной программы с указанием результатов обучения (знаний, умений, владений), характеризующих этапы их формирования

Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования приведено в приложении 1.

6.2. Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине. Описание шкал оценивания

Оценка результатов обучения в соответствии с **Учебным планом** производится на основании анализа предоставленных обучающимся документов его личного **портфолио**. Оценивание компетенций обучающегося на всех стадиях их формирования осуществляется **по пятибалльной шкале**. Показатели и критерии оценивания компетенций, которые формируются у обучающихся в процессе изучения дисциплины, представлены в таблицах Приложения 1, являющегося неотъемлемой частью **РПД**.

Зачтено	Отличная, хорошая или удовлетворительная подготовка. Обучаемый на удовлетворительно или лучше отвечает на вопросы программы–минимум и основной вопрос, а также на большинство дополнительных вопросов.
Не зачтено	Обучаемый показывает неудовлетворительное знание основ курса и базовых понятий, допускает значительные ошибки при ответах на большинство дополнительных вопросов. Необходима дополнительная подготовка для успешного прохождения испытания.

6.3. Примеры типовых контрольных заданий или иных материалов, необходимых для оценки результатов обучения, характеризующих сформированность компетенций.

Написать необходимые выражения и объяснить содержание следующих **понятий**:

1. **Нелинейность среды**. Сравнение свойств линейных нелинейных сред. (**ПК-1**).
2. **Дисперсия** и **диссипация** среды. Влияние дисперсии и диссипации на распространение

волн. (ПК-1).

3. Природа *дисперсии* и *диссипации* среды в электродинамике. Соотношения Крамерса-Кронига. (ПК-1).

4. Условия образования частотных гармоник в нелинейной диспергирующей среде. (ПК-1).

5. *Квадратичная среда*. Условия и типы трехчастотного взаимодействия. (ПК-1).

6. Законы сохранения в непоглощающей *квадратичной среде*. (ПК-1).

7. Влияние *синхронизма* и граничных условий на процесс образования второй гармоники в *квадратичной среде* по двухволновой схеме $1^\circ + 1^\circ = 2^\circ$. (ПК-1).

8. Параметрическое приближение трёхволнового взаимодействия при *низкочастотной накачке* в *квадратичной среде* (общая характеристика процесса). (ПК-2).

9. Параметрическое приближение трёхволнового взаимодействия при *высокочастотной накачке* в *квадратичной среде* (общая характеристика процесса). (ПК-1).

10. *Кубичная среда*. Условия и разновидности четырехчастотного взаимодействия. (ПК-1).

11. Законы сохранения в непоглощающей *кубичной среде*. (ПК-2).

12. Влияние *эффекта Керра* и *синхронизма* на эффективность процесса образования третьей гармоники в *кубичной среде*. (ПК-2).

13. Природа *комбинационного рассеяния* и *вынужденное комбинационное рассеяние (ВКР)* лазерного излучения. (ПК-2).

14. Законы сохранения при *ВКР* лазерного излучения. (ПК-2).

15. Сравнительная характеристика процессов образования *стоксова* излучения *вперёд* и *назад* при *ВКР* поля лазерной генерации. (ПК-2).

16. Условия эффективной генерации *антистоксова* излучения при *ВКР* лазерного излучения. (ПК-2).

17. Природа *рассеяния Мандельштама-Бриллюэна* и *вынужденное рассеяние Мандельштама-Бриллюэна (ВРМБ)*. (ПК-2).

18. Законы сохранения при *ВРМБ* лазерного излучения и *гиперзвука*. (ПК-2).

19. Сравнительная характеристика процессов образования *стоксова* излучения *вперёд* и *назад* при *ВРМБ* поля лазерной генерации и *гиперзвука* (при условии *синхронизма*). (ПК-2).

20. *Обращение волнового фронта (ОВФ)* при четырехволновом взаимодействии (ЧВ) в нелинейной кубичной среде. (ПК-2).

21. Основные свойства *солитонного* решения *уравнения КдВ*. (ПК-1).

22. Основные свойства *солитонного* решения *уравнения Синус-Гордон*. (ПК-1).

23. Основные свойства *солитонного* решения *нелинейного уравнения Шрёдингера*. (ПК-1).

24. *Самоиндуцированная прозрачность (СИ)* резонансной поглощающей среды (условия реализации *СИ*, основные параметры *солитонного* импульса и процесса его распространения). (ПК-2).

25. Стационарный короткий импульс солитонного типа в активной резонансной среде (условия реализации, основные параметры *солитонного* импульса и процесса его распространения). (ПК-2).

26. *Метод обратной задачи рассеяния (ОЗР)* – новый метод отыскания точных решений нелинейных уравнений в частных производных. (ПК-1).

27. *Автопреобразование Бэклунда (АПБ)* – новый метод отыскания точных решений нелинейных уравнений в частных производных. (ПК-1).

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины «Нелинейная оптика»

а) Основная литература:

1. 1. Martin Wegener. Extreme Nonlinear Optics. Springer, 2005, 225 p.

2. 2. Manthos G. Papadopoulos, Andrzej J. Sadlej, Jerzy Leszczynsky. Non-Linear Optical Properties of Matter. Springer, 2006, 681 p.

3. Е. Hanamura, Y. Kawabe, A. Yamanake. Quantum Nonlinear Optics. Springer, 2007, 240 p.

б) Дополнительная литература:

4. Anjan Biswas, Daniela Milovic, Matthew Edwards. Mathematical Theory of Dispersion-

- Managed Optical Solitons. Springer, 2010, 170 p.
5. Ralf Menzel. Photonics. Springer, 2007, 1042 p.
6. Jurgen Eichler, Hans Joachim Eichler. Laser. Springer, 2006, 475 p.

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Аудиторный фонд ННГУ.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО с учетом рекомендаций ОПОП по направлению подготовки 03.06.01 Физика и астрономия (уровень подготовки кадров высшей квалификации) и направленности 01.04.21 Лазерная физика.

Автор _____ Миловский Н.Д.

Рецензент _____ Савикин А.П.

Заведующий кафедрой общей физики _____ Бакунов М.И.

Программа одобрена на заседании методической комиссии радиофизического факультета от _____ 2021 года, протокол № ____.

Карты компетенций, в формировании которых участвует дисциплина

ПК-1 Способность выполнять научно-исследовательские работы и получать новые научные результаты в области лазерной физики в составе научной группы

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КОМПЕТЕНЦИИ

Тип КОМПЕТЕНЦИИ:

Профессиональная компетенция выпускника программы аспирантуры.

ПОРОГОВЫЙ (ВХОДНОЙ) УРОВЕНЬ ЗНАНИЙ, УМЕНИЙ, ОПЫТА ДЕЯТЕЛЬНОСТИ, ТРЕБУЕМЫЙ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИИ

Для того, чтобы формирование данной компетенции было возможно, обучающийся, приступивший к освоению программы аспирантуры, должен:

ЗНАТЬ: базовые разделы высшей математики, теоретической и лазерной физики.

УМЕТЬ: проводить основные математические преобразования, пользоваться основными измерительными приборами.

ВЛАДЕТЬ: базовым уровнем английского языка, навыками программирования и использования ресурсов интернета.

Планируемые результаты обучения* (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения				
	1	2	3	4	5
ЗНАТЬ: Основные концепции современной лазерной физики	Отсутствие знаний	Фрагментарные представления об основных концепциях лазерной физики	Неполные представления об основных концепциях лазерной физики	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы, представления об основных концепциях лазерной физики	Сформированные систематические представления об основных концепциях лазерной физики
УМЕТЬ: Работать на современном оптическом и измерительном оборудовании	Отсутствие умений	Частично освоенное умение работать на современном оптическом и измерительном оборудовании	В целом успешное, но не систематическое умение работать на современном оптическом и измерительном оборудовании	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение работать на современном оптическом и измерительном оборудовании	Успешное и систематическое умение работать на современном оптическом и измерительном оборудовании
ВЛАДЕТЬ: Современными теоретическими и экспериментальными методами исследований	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение современных теоретических и экспериментальных методов исследований	В целом успешное, но не систематическое применение современных теоретических и экспериментальных методов исследований	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение современных теоретических и экспериментальных методов исследований	Успешное и систематическое владение современными теоретическими и экспериментальными методами исследований
ВЛАДЕТЬ: Навыками чтения и восприятия научной литературы на английском языке	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение навыков чтения и восприятия научной литературы на английском языке	В целом успешное, но не систематическое применение навыков чтения и восприятия научной литературы на английском языке	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков чтения и восприятия научной литературы на английском языке	Успешное и систематическое владение навыками чтения и восприятия научной литературы на английском языке

ПК-2 Способность самостоятельно ставить научные задачи и формулировать новые идеи в области лазерной физики

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КОМПЕТЕНЦИИ

Тип КОМПЕТЕНЦИИ:

Профессиональная компетенция выпускника программы аспирантуры.

ПОРОГОВЫЙ (ВХОДНОЙ) УРОВЕНЬ ЗНАНИЙ, УМЕНИЙ, ОПЫТА ДЕЯТЕЛЬНОСТИ, ТРЕБУЕМЫЙ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИИ

Для того, чтобы формирование данной компетенции было возможно, обучающийся, приступивший к освоению программы аспирантуры, должен:

ЗНАТЬ: основы лазерной физики.

УМЕТЬ: выделять и систематизировать основные идеи в научных текстах.

ВЛАДЕТЬ: базовым уровнем английского языка, навыками использования ресурсов интернета.

Планируемые результаты обучения* (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения				
	1	2	3	4	5
ЗНАТЬ: Современное состояние исследований в области лазерной физики	Отсутствие знаний	Фрагментарные представления о современном состоянии исследований в области лазерной физики	Неполные представления о современном состоянии исследований в области лазерной физики	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы, представления о современном состоянии исследований в области лазерной физики	Сформированные систематические представления о современном состоянии исследований в области лазерной физики
УМЕТЬ: Определять наиболее актуальные направления исследований	Отсутствие умений	Частично освоенное умение определять наиболее актуальные направления исследований	В целом успешное, но не систематическое умение определять наиболее актуальные направления исследований	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение определять наиболее актуальные направления исследований	Успешное и систематическое умение определять наиболее актуальные направления исследований
ВЛАДЕТЬ: Навыками формулирования задач для членов исследовательской группы	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение навыков формулирования задач для членов исследовательской группы	В целом успешное, но не систематическое применение навыков формулирования задач для членов исследовательской группы	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков формулирования задач для членов исследовательской группы	Успешное и систематическое владение навыками формулирования задач для членов исследовательской группы