

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
Саровский физико-технический институт -
филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения
высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
(СарФТИ НИЯУ МИФИ)

ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра «Квантовой электроники»

УТВЕРЖДАЮ

Декан ФТФ, д.ф.-м.н.

_____ **А.К. Чернышев**

«___» _____ **2023г.**

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
«СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ НАУКИ И ПРОИЗВОДСТВА:
ЛАЗЕРЫ СВЕРХКОРОТКИХ ИМПУЛЬСОВ»

наименование дисциплины

	03.04.01 Прикладные математика и физика
Наименование образовательной программы	Квантовая оптика и лазерная физика
Квалификация (степень) выпускника	магистр
Форма обучения	очная
Программа одобрена на заседании кафедры	Зав. кафедрой КЭ д.ф.-м.н., профессор _____ Ф.А. Стариков
<u>протокол №</u>	«___» _____ 2023г.

г. Саров, 2023 г.

Программа переутверждена на 202____/202____ учебный год с изменениями в соответствии с семестровыми учебными планами академических групп ФТФ на 202____/202____ учебный год.

Заведующий кафедрой Зав. кафедрой КЭ д.ф.-м.н., профессор

Ф.А. Стариков

Программа переутверждена на 202____/202____ учебный год с изменениями в соответствии с семестровыми учебными планами академических групп ФТФ на 202____/202____ учебный год.

Заведующий кафедрой Зав. кафедрой КЭ д.ф.-м.н., профессор

Ф.А. Стариков

Программа переутверждена на 202____/202____ учебный год с изменениями в соответствии с семестровыми учебными планами академических групп ФТФ на 202____/202____ учебный год.

Заведующий кафедрой Зав. кафедрой КЭ д.ф.-м.н., профессор

Ф.А. Стариков

Программа переутверждена на 202____/202____ учебный год с изменениями в соответствии с семестровыми учебными планами академических групп ФТФ на 202____/202____ учебный год.

Заведующий кафедрой Зав. кафедрой КЭ д.ф.-м.н., профессор

Ф.А. Стариков

Семестр	В форме прак- тической подго- товки	Трудоемкость, кред.	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практич. заня- тия, час.	Лаборат. работы, час.	СРС, час.	КР/ КП	Форма(ы) кон- троля, экз./зач./ЗсО/
1	16	3	108	16	16	-	76	0	зачет
ИТОГО	16	3	108	16	16	-	76	0	зачет

Аннотация

Рассматриваются способы описания волнового пакета, принципы генерации ультракоротких импульсов, принципы их усиления и получения сверхвысокой мощности лазерного излучения и физические эффекты при распространении сверхкоротких световых импульсов в диспергирующих и нелинейных средах. Рассматриваются применения лазеров с ультракороткой длительностью импульса излучения в различных областях науки и техники.

Решение проблемы получения интерференционной картины лежит в использовании двух зависимых и согласованных источников волн. Использование сверхкоротких световых импульсов дает уникальную возможность проследить за развитием подобных. Проблема измерения оптических частот и её решение с помощью ... о лазерах особого типа, а именно, лазерах, генерирующих излучение в виде ультракоротких импульсов (УКИ) и показать их важность для современной науки и техники.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью курса является ознакомление студентов с принципами устройства лазеров со сверхкороткой длительностью импульса излучения, особенностями распространения сверхкоротких световых импульсов в различных средах и применениями таких лазерных в различных областях науки и техники. Рассматриваются способы описания волнового пакета, принципы генерации ультракоротких импульсов, принципы их усиления и получения сверхвысокой мощности лазерного излучения и физические эффекты при распространении сверхкоротких световых импульсов в диспергирующих и нелинейных средах. Рассматриваются применения лазеров с ультракороткой длительностью импульса излучения в различных областях науки и техники.

В рамках курса акцентируется внимание на тех вопросах физики лазеров, которые присущи главным образом твёрдотельным лазерным системам.

В процессе обучения студенты знакомятся с субпикосекундным лазером тераваттного уровня мощности и одной из крупнейших в мире установок с петаваттной мощностью лазерного излучения.

В процессе самостоятельных занятий и на проводимых семинарах студенты обучаются проводить различные оценки, касающиеся основных свойств спектрально-ограниченных лазерных импульсов, диспергирующих свойств дифракционной решётки,

генерации ультракоротких световых импульсов, физических эффектов при распространении сверхкоротких импульсов в диспергирующих и нелинейных средах.

Курс необходим для специалистов, работающих в области лазерной техники. Знания и практические навыки, полученные в курсе «Лазеры сверхкоротких импульсов», используются студентами при разработке курсовых и дипломных работ.

2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОП ВО

Дисциплина «СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ НАУКИ И ПРОИЗВОДСТВА: ЛАЗЕРЫ СВЕРХКОРОТКИХ ИМПУЛЬСОВ» входит в обязательную часть ОП по направлению подготовки 03.04.01 «Прикладные математика и физика». Курс опирается на материал следующих дисциплин, читаемых студентам физико-математических специальностей: физическая оптика, квантовая механика, квантовая электроника, нелинейная оптика.

Для успешного освоения дисциплины необходимы знания по университетским курсам общей физики и математики. Необходимо знать дифференциальное и интегральное исчисление, векторный анализ, электричество и магнетизм, в том числе в материальных средах, физическую оптику и квантовую механику. Необходимо ориентироваться в оптике анизотропных сред.

3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Общепрофессиональные компетенции выпускников и индикаторы их достижения

Код и наименование универсальной компетенции	Код и наименование индикатора достижения
ОПК-1 Способен применять фундаментальные и прикладные знания в области физико-математических и (или) естественных наук для решения профессиональных задач, в том числе в сфере педагогической деятельности	З-ОПК-1 Знать фундаментальные и прикладные основы, полученные в области физико-математических и естественных наук, знать методы анализа информации для решения профессиональных задач, в том числе в сфере педагогической деятельности. У-ОПК-1 Уметь использовать на практике углубленные фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и естественных наук для

	решения профессиональных задач, в том числе в сфере педагогической деятельности. В-ОПК-1 Владеть навыками обобщения, синтеза и анализа фундаментальных знаний, для решения профессиональных задач, в том числе в сфере педагогической деятельности, владеть научны мировоззрением
ОПК-2 Способен самостоятельно осваивать и применять современные математические методы исследования анализа и обработки данных, компьютерные программы, средства их разработки, научно-исследовательскую, измерительно-аналитическую и технологическую аппаратуру (в соответствии с избранным направлением прикладных математики и физики)	З-ОПК-2 Знать современные теоретические, в том числе математические и экспериментальные методы исследований для решения профессиональных задач. У-ОПК-2 Уметь самостоятельно осваивать и применять современные математические методы исследования анализа и обработки данных, компьютерные программы, средства из разработки, научно-исследовательскую, измерительно-аналитическую и технологическую аппаратуру (в соответствии с избранным направлением прикладных математики и физики) В-ОПК-2 Владеть навыками проведения фундаментальных и прикладных исследований и разработок, работы на современной экспериментальной научно-исследовательской, измерительно-аналитической и технологической аппаратуре

Обязательные профессиональные компетенции выпускников и индикаторы их достижения

Задача ПД	Объект или область знания	Код и наименование профессиональной компетенции	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции	Основание (ПС, анализ опыта)	Код и наименование ОТФ (ТФ)

Тип задачи профессиональной деятельности: научно-исследовательский					
планирование и проведение научных работ в соответствии с утвержденным направлением исследований в области лазерной физики	мощные импульсные лазерные установки РФЯЦ ВНИИЭФ для исследований плотной горячей плазмы с диагностическими комплексами и основным и вспомогательным оборудованием; системы мощных импульсных и непрерывных лазеров различного назначения для лазерно-физических исследований со средствами управления лазерным пучком и контроля лазерного излучения производственные и технологиче-	ПК-3 Способен профессионально работать с исследовательским и испытательным оборудованием, приборами и установками в избранной предметной области в соответствии с целями программы специализированной подготовки магистра	З-ПК-3 Знать основные методы исследований, принципы работы приборов и установок избранной предметной области У-ПК-3 Уметь выбирать необходимые технические средства для проведения экспериментальных исследований в избранной предметной области, обрабатывать полученные экспериментальные результаты В-ПК-3 Владеть навыками работы с исследовательским и испытательным обо-	Профессиональный стандарт «40.008. Специалист по организации и управлению научно-исследовательскими и опытно-конструкторскими работами	В/01.6. Организация выполнения научно-исследовательских работ по проблемам, предусмотренным тематическим планом сектора (лаборатории)

	ские процессы лазерно- физи- ческих и лазер- но-плазменных исследований, средства их технологиче- ского, инстру- ментального, метрологиче- ского, диагно- стического, информацион- ного и управ- ленческого обеспечения		рудованием, приборами и установками в избранной предметной области		
--	--	--	---	--	--

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Учебным планом на изучение дисциплины отводится один семестр. В семестре выполняется одно домашнее задание. В конце курса предусмотрен зачёт.

При преподавании дисциплины методически целесообразно в каждом разделе курса выделить наиболее важные моменты и акцентировать на них внимание обучаемых.

№ п/п	Наименование раздела /темы дисциплины	№ не- дели	Лекции	Практ. занятия	СРС	К/Р	Текущий контроль (форма)*	Максимальный балл (см. п. 6.3)
		Семестр 1						
Раздел I								
1.1	Введение. Оптический сигнал и его свойства.		2	2	8		УО	3
1.2	Методы генерации сверхкоротких лазерных им- пульсов.		2	2	10		УО	3
1.3	Методы измерений длительности сверхкоротких лазерных импульсов.		2	2	10		УО	3
1.4	Спектральные элементы.		2	2	10		УО	3
	Рубежный контроль	8				К/Р		12
Раздел II								
2.1	Устройство удлинения и спектрального упорядо- чения лазерного импульса (стретчер). Компрес- сия чирпированных импульсов.		2	2	10		УО	2
2.2	Усиление чирпированных лазерных импульсов.		2	2	8		УО	2

№ п/п	Наименование раздела /темы дисциплины	№ не- дели	Лекции	Практ. занятия	СРС	К/Р	Текущий контроль (форма)*	Максимальный балл (см. п. 6.3)
2.3	Распространение сверхкоротких лазерных им- пульсов в диспергирующих средах..		2	2	10		УО	4
2.4	Распространение сверхкоротких лазерных им- пульсов в нелинейных средах.		2	2	10		УО	4
	Рубежный контроль	16			38	К/Р		12
Промежуточная аттестация			Зачет				36	0-30
Посещаемость								10
Итого:			16	16	76			100

***Сокращение наименований форм текущего, рубежного и промежуточного контроля:**

УО – устный опрос

Контр. – контрольная работа

Тест – *тестирование (письменный опрос)*

ДЗ – домашнее задание

РГР – расчетно-графическая работа

Э/Зач/ЗсО – экзамен/зачет/зачет с оценкой и др.

4.1. План лекционных занятий

1. Введение. Оптический сигнал и его свойства.

Что такое сверхкороткий лазерный импульс и зачем нужны лазеры сверхкоротких импульсов. Понятия плоской электромагнитной волны, её фазы, частоты, волнового вектора. Понятие оптического сигнала (волнового пакета), способ его описания. Основы преобразования Фурье и его основных свойств. Типичные примеры преобразований Фурье, выражаемых аналитическими функциями. Понятие спектра сигнала. Переход от временной формы оптического сигнала к его спектральному составу. Понятие спектрально-ограниченного импульса, его основное свойство.

2. Методы генерации сверхкоротких лазерных импульсов.

Понятие продольных мод плоскопараллельного резонатора, их спектр. Вывод формулы для временной формы лазерного импульса при сложении большого числа синхронизованных мод. Вывод формулы для длительности ультракороткого лазерного импульса при активной синхронизации мод в среде с однородным контуром линии усиления. Современные способы синхронизации мод (Керровская линза, насыщающийся поглотитель с малым временем релаксации).

3. Методы измерений длительности сверхкоротких лазерных импульсов.

Вывод формулы для автокорреляционной функции в методе измерения длительности ультракороткого импульса с помощью интерферометра Майкельсона. Способ измерения АКФ одиночного импульса с помощью неколлинеарной генерации второй гармоники в нелинейном кристалле.

4. Спектральные элементы.

Закон преломления применительно к призме, формула дисперсии призмы. Вывод уравнения дифракционной решётки, правило знаков. Анализ частных случаев. Порядки дифракции. Угол Литтрова.

5. Устройство удлинения и спектрального упорядочения лазерного импульса (стретчер). Компрессия чирпированных импульсов.

Принцип работы стретчера и компрессора на дифракционных решётках. Вывод формулы, связывающей длительность лазерного импульса при распространении в среде с отличной от нуля второй производной фазы по частоте. Описание лазерного импульса на выходе стретчера. Основные характеристики дифракционных решёток.

6. Усиление чирпированных лазерных импульсов.

Описание принципов усиления чирпированных лазерных импульсов в оптических квантовых усилителях и в параметрических усилителях. Современные схемы усиления в

лазерных системах на неодимовом фосфатном стекле и на кристаллах Ti:sapphire. Описание принципа работы действующей в РФЯЦ-ВНИИЭФ на основе параметрического усиления лазерной системы петаваттного уровня мощности.

7. Распространение сверхкоротких лазерных импульсов в диспергирующих средах.

Вывод формулы, описывающей распространение гауссова импульса в диспергирующей среде, с учётом дисперсии второго порядка. Соотношение между фазовой и групповой скоростями света. Вывод формулы длительности ультракороткого лазерного импульса на выходе такой среды. Объяснение принципа компенсации дисперсии групповых скоростей.

8. Распространение сверхкоротких лазерных импульсов в нелинейных средах.

Кубическая нелинейность. Природа нелинейного показателя преломления. Самофокусировка фазы при распространении сверхкороткого лазерного импульса в нелинейной среде.

4.2. План практических занятий

1. Расчёт характеристик спектрально-ограниченного лазерного импульса.
2. Расчёт межмодового частотного интервала. Расчёт временной формы импульса при сложении сфазированных мод резонатора.
- 3-4 Решение задач на тему «дифракционные решётки». Определение возможных порядков дифракции, угла Литтрова. Расчёт дисперсии дифракционной решётки в различных порядках дифракции. Расчёт пространственных и угловых характеристик отражённого от дифракционной решётки широкополосного лазерного импульса.
- 5-6 Решение задач на тему «Распространение сверхкоротких лазерных импульсов в линейных диспергирующих средах». Численный расчёт длительности ультракороткого лазерного импульса при его распространении в среде с известной дисперсией групповых скоростей. Обратная задача.
7. Расчёт нелинейного набег фазы при распространении сверхкороткого импульса в среде с заданной нелинейностью.
8. Решение задач на тему «Солиitonный режим распространения сверхкоротких лазерных импульсов в нелинейных диспергирующих средах».

5.ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ ИНТЕРАКТИВНЫЕ ФОРМЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ

Фонд оценочных средств по дисциплине обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущего, рубежного и промежуточного контроля по дисциплине.

5.1. Паспорт фонда оценочных средств по дисциплине

Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения представлена в следующей таблице:

Раздел	Темы занятий	Компетенция	Индикаторы освоения	Текущий контроль, неделя
Семестр 3				
Раздел 1	Тема 1.	ОПК-1	3-ОПК-1; У-ОПК-1; В-ОПК-1	УО - 1
	Тема 2.	ОПК-2	3-ОПК-2; У-ОПК-2; В-ОПК-2	УО - 3
	Тема 3.	ПК-3	3-ПК-3; У-ПК-3; В-ПК-3	УО - 5
	Тема 4.		3-ПК-3; У-ПК-3; В-ПК-3	УО - 7
Рубежный контроль		ОПК-1	3-ОПК-1; У-ОПК-1; В-ОПК-1	УО – 7
		ОПК-2	3-ОПК-2; У-ОПК-2; В-ОПК-2	
		ПК-3	3-ПК-3; У-ПК-3; В-ПК-3	
Раздел 2	Тема 5.	ОПК-1	3-ОПК-1; У-ОПК-1; В-ОПК-1	УО - 9
	Тема 6.	ОПК-2	3-ОПК-2; У-ОПК-2; В-ОПК-2	УО - 11
	Тема 7.	ПК-3	3-ПК-3; У-ПК-3; В-ПК-3	УО - 13
	Тема 8.		3-ПК-3; У-ПК-3; В-ПК-3	УО - 15
Рубежный контроль		ОПК-1	3-ОПК-1; У-ОПК-1; В-ОПК-1	Тест – 15 (16)
		ОПК-2	3-ОПК-2; У-ОПК-2; В-ОПК-2	
		ПК-3	3-ПК-3; У-ПК-3; В-ПК-3	
Промежуточная аттестация		ОПК-1 ОПК-2 ПК-3	3-ОПК-1; У-ОПК-1; В-ОПК-1 3-ОПК-2; У-ОПК-2; В-ОПК-2 3-ПК-3; У-ПК-3; В-ПК-3	Зачет

5.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующие этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы

5.3. ВИДЫ И ФОРМЫ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

1. Самостоятельный поиск литературы по разделам дисциплины.
2. Самостоятельное решение задач по темам при подготовке к практическим занятиям.
3. Подготовка к зачёту.

Форма контроля: проверка работ, сданных преподавателю в письменной форме. Устное собеседование по основным разделам лекционного материала согласно билетам к зачёту.

5.4. ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

1. Оптический сигнал и его Фурье-преобразование. Спектрально-ограниченный лазерный импульс. Связь между длительностью импульса и его спектральной шириной. Типичные задачи:

1.1. Имеется спектрально-ограниченный импульс гауссовой временной формы длительностью по интенсивности $\tau_{0,5}=20$ фс. Центральная длина волны 800нм. Построить спектр импульса.

1.2. Имеется спектрально-ограниченный импульс гауссовой временной формы. Спектральная ширина 30нм (по интенсивности). Центральная длина волны 900нм. Построить временную форму импульса по интенсивности.

1.3. Имеется импульс гауссовой временной формы длительностью по интенсивности $\tau_{0,5}=20$ фс. Интенсивность в максимуме 10^{19} Вт/см². Длина волны 800нм. Построить временную зависимость электрического поля световой волны в абсолютных единицах.

2. Спектральные устройства. Уравнение дифракционной решётки. Типичные задачи:

2.1. Имеется дифракционная решётка с числом штрихов 1200мм^{-1} . На неё под углом 45° относительно нормали падает лазерный пучок, длина волны 900нм. Определить все возможные порядки дифракции. Определить угол Литтрова.

2.2. Имеется дифракционная решётка с числом штрихов 1500мм^{-1} . На неё под углом 30° относительно нормали падает световой импульс гауссовой временной формы длительностью $\tau_{0,5}=25$ фс. Поперечный размер пучка очень мал. Центральная длина волны $\lambda_0=1000\text{нм}$. Определить дисперсию решётки в первом порядке дифракции. На каком расстоянии от решётки поперечное расстояние между спектральными компонентами в первом порядке дифракции будет равно 10см? $\Delta\lambda$ - спектральная полуширина импульса.

2.3. На дифракционную решётку с плотностью штрихов 1000мм^{-1} падает излучение с неизвестной длиной волны. Придумать оптическую схему измерений угла Литтрова. Если угол Литтрова равен 45° для первого порядка дифракции, то чему равна длина волны? Оценить точность измерения λ .

2.4. На дифракционную решётку с неизвестной плотностью штрихов падает излучение с известной длиной волны $\lambda=900\text{нм}$. Придумать оптическую схему измерений угла Литтрова. Если угол Литтрова равен 30° для первого порядка дифракции, то чему равна плотность штрихов? Оценить точность измерения плотности штрихов.

2.5. Придумать и обосновать схему измерения длины волны при отражении лазерного импульса от дифракционной решётки с известной плотностью штрихов.

2.6. Придумать и обосновать схему измерения плотности штрихов при отражении от дифракционной решётки лазерного импульса с известной длиной волны.

3. Синхронизация продольных мод резонатора. Типичные задачи:

3.1. Длина резонатора равна 150см . Определить межмодовый частотный интервал. Выразить его в Гц, нм, ангстремах и см^{-1} .

3.2. Длина резонатора равна 150см . Центральная длина волны 1054нм . Построить нормированную на 1 временную форму лазерного импульса (по интенсивности), являющуюся результатом сложения трёх продольных мод с произвольно выбранными фазами.

3.3. Длина резонатора равна 150см . Центральная длина волны 1054нм . Построить нормированную на 1 временную форму лазерного импульса (по интенсивности), являющуюся результатом сложения семи сфазированных продольных мод.

3.4. Длина резонатора равна 150см . Центральная длина волны 1054нм . Построить нормированную на 1 временную форму лазерного импульса (по интенсивности), являющуюся результатом сложения пяти продольных мод с неслучайно ($\Delta\varphi_{n,n+1}=\text{const}$) выбранными фазами.

4. Распространение сверхкоротких лазерных импульсов в линейных диспергирующих средах. Типичные задачи:

4.1. На диспергирующую среду с дисперсией групповых скоростей $K_2=30\text{фс}^2/\text{мм}$ падает световой импульс гауссовой формы длительностью 40фс . На каком расстоянии длительность импульса в среде будет равна 120фс ?

4.2. На диспергирующую среду с дисперсией групповых скоростей $K_2=40\text{фс}^2/\text{мм}$ падает световой импульс гауссовой формы длительностью 60фс . Какова будет длительность импульса при прохождении 200см ?

4.3. На диспергирующую среду с неизвестной дисперсией групповых скоростей падает световой импульс гауссовой формы длительностью 60фс . При прохождении 250см среды длительность импульса стала равной 90фс . Чему равна дисперсия групповых скоростей второго порядка?

5. Распространение сверхкоротких лазерных импульсов в нелинейных средах. Типичные задачи:

5.1. На среду длиной $L=100\text{см}$ с показателями преломления $n_0=1,5$ и $n_2=2\times 10^{-13}$ ед.СГСЕ падает лазерный пучок с длиной волны $\lambda=1000\text{нм}$ диаметром 1см . Длительность импульса 1нс . Определить нелинейный набег фазы.

5.2. На среду длиной $L=10\text{см}$ с показателями преломления $n_0=1,5$ и $n_2=2\times 10^{-13}$ ед.СГСЕ падает лазерный пучок с длиной волны $\lambda=1000\text{нм}$ диаметром 1см . Длительность импульса 50фс . Определить нелинейный набег фазы.

5.3. Определить уширение спектра при распространении в нелинейной среде длиной 10см с показателями преломления $n_0=1,5$ и $n_2=2\times 10^{-13}$ ед.СГСЕ импульса длительностью 20фс с интенсивностью 10ГВт/см^2 .

5.5 .ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ

1. Оптический сигнал и его свойства.

1. Электрическое поле световой волны в комплексном виде

$E(t) = E_0 \times e^{i\omega_0 t}$	$E(t) = E_0 \times e^{i(\omega_0 t + k_0 n z)}$	$E(t) = E_0 \times e^{ik_0 n z}$
-------------------------------------	---	----------------------------------

2. Фаза световой волны

$\Phi(t, z) = \omega_0 t$	$\Phi(t, z) = k_0 n z$	$\Phi(t, z) = \omega_0 t + k_0 n z$
---------------------------	------------------------	-------------------------------------

3. Частотный спектр импульсного оптического сигнала $E(t) = E_0(t) \times e^{i\omega_0 t}$ с точностью до постоянного коэффициента

$F_{\text{сигн}}(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} E_0(t) e^{-i(\omega - \omega_0)t} dt$	$F_{\text{сигн}}(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} E_0(t) e^{-i\omega_0 t} dt$	$F_{\text{сигн}}(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} E_0(t) e^{-i\omega t} dt$
---	---	---

4. Фурье-образ Гауссовой функции $e^{-\Gamma t^2}$

$e^{-\frac{\omega^2}{4\Gamma}}$	$e^{-\Gamma \omega^2}$	$e^{-\frac{\omega}{4\Gamma}}$
---------------------------------	------------------------	-------------------------------

5. Свойство спектрально-ограниченного импульса

$\tau_{0,5} \times \Delta \nu_{0,5} = 2\pi$	$\tau_{0,5} \times \Delta \nu_{0,5} = \text{const} \approx 1$	$\tau_{0,5} \times \Delta \nu_{0,5} = \pi$
---	---	--

2. Методы генерации сверхкоротких лазерных импульсов.

1. Частотный интервал $\Delta \nu$ между двумя соседними продольными модами плоскопараллельного резонатора длины L

$\Delta \nu \approx \frac{2L}{c}$	$\Delta \nu \approx \frac{c}{2L}$	$\Delta \nu \approx 2cL$
-----------------------------------	-----------------------------------	--------------------------

2. Интенсивность импульса в результате сложения $2n+1$ сфазированных продольных мод с одинаковой амплитудой поля E_0

$I(t) = E_0^2 \times \frac{\sin^2 \left[(2n+1) \frac{\Delta\omega t + \varphi}{2} \right]}{\sin^2 \frac{\Delta\omega t + \varphi}{2}}$	$I(t) = \frac{\sin^2 \left[(2n+1) \frac{\Delta\omega t + \varphi}{2} \right]}{\sin^2 \frac{\Delta\omega t + \varphi}{2}}$	$I(t) = E_0^2 \times \frac{\sin^2 \left[n \frac{\Delta\omega t + \varphi}{2} \right]}{\sin^2 \frac{\Delta\omega t + \varphi}{2}}$
---	--	--

3. Период следования импульсов с синхронизованными модами в резонаторе длины 150см

5 нс	10 нс	20 нс
------	-------	-------

4. Результат сложения двух когерентных лазерных импульсов с интенсивностью I_0 каждый, разность фаз между которыми равна π

$4 I_0$	$2 I_0$	0
---------	---------	---

5. Результат сложения двух когерентных лазерных импульсов с интенсивностью I_0 каждый, разность фаз между которыми равна 2π

$4 I_0$	$2 I_0$	0
---------	---------	---

6. Лазерный импульс усиливается в активной среде, спектральная ширина полосы которой сравнима со спектральной шириной этого импульса. Длительность импульса при усилении будет:

Уменьшаться	Увеличиваться	Не изменится
-------------	---------------	--------------

7. Длительность импульса при активной синхронизации мод резонатора в среде с однородным уширением

$\tau_{0,5} = \frac{1}{\sqrt{\Delta\nu_L}}$	$\tau_{0,5} = \frac{1}{\nu_m(\Delta\nu_L)}$	$\tau_{0,5} = \frac{0,45}{\sqrt{\nu_m(\Delta\nu_L)}}$
---	---	---

где ν_m – частота работы модулятора, $\Delta\nu_L$ – ширина Лоренцевой линии усиления.

8. С ростом частоты модуляции при активной синхронизации мод длительность импульса

Уменьшается	Увеличивается	Не меняется
-------------	---------------	-------------

9. Ширина линии люминесценции активной среды задающего генератора с синхронизацией мод равна $\Delta\nu_L$. В каком случае на выходе лазера будет получена минимальная длительность импульса:

$\Delta\nu_L=100$ ТГц	$\Delta\nu_L=200$ ТГц	$\Delta\nu_L=50$ ТГц
-----------------------	-----------------------	----------------------

10 Длина волны лазерного излучения равна 1мкм. Длина волны в нанометрах

100	10 000	1 000
-----	--------	-------

3. Методы измерений длительности сверхкоротких лазерных импульсов.

1. С помощью интерферометра Майкельсона зарегистрирована автокорреляционная функция импульса гауссовой формы, длительность которой по полувысоте равна 141 фс. Длительность лазерного импульса равна:

50 фс	100 фс	282 фс
-------	--------	--------

2. С помощью интерферометра Майкельсона зарегистрирована автокорреляционная функция. Отношение постоянной составляющей $U_{фон}$ к максимальной величине сигнала $U_{max}/U_{фон} =$

4	16	8
---	----	---

3. Автокорреляционная функция второго порядка:

$\int_{-\infty}^{+\infty} E(t) \times E(t + \tau) dt$	$\int_{-\infty}^{+\infty} I(t) \times I(t + \tau) dt$	$\int_{-\infty}^{+\infty} I^2(t) dt$
---	---	--------------------------------------

4. Интенсивность суммарной волны (результат интерференции двух импульсов) на выходе интерферометра Майкельсона

$\rho^2(t) + \rho^2(t + \tau) + 2\rho(t)\rho(t + \tau)\cos\varphi(\tau)$	$\rho^2(t) + \rho^2(t + \tau) + 2\rho(t)\rho(t + \tau)$	$\rho^2(t) + \rho^2(t + \tau)$
--	---	--------------------------------

Где $\rho(t)$ – временная огибающая поля импульсов

5. Условия максимумов автокорреляционной функции, получаемой с помощью интерферометра Майкельсона, соответствуют положению зеркал

$z_2(\tau) - z_1 = \lambda/4$	$z_2(\tau) - z_1 = \lambda/2$	$z_2(\tau) - z_1 = \lambda$
-------------------------------	-------------------------------	-----------------------------

6. Условия минимумов автокорреляционной функции, получаемой с помощью интерферометра Майкельсона, соответствуют положению зеркал

$z_2(\tau) - z_1 = \lambda/4$	$z_2(\tau) - z_1 = \lambda/2$	$z_2(\tau) - z_1 = \lambda$
-------------------------------	-------------------------------	-----------------------------

4. Спектральные элементы.

1. Длина волны импульса гауссовой формы равна 0,9мкм. Его длительность 30фс. Ширина спектра по интенсивности в нанометрах:

30	40	60
----	----	----

2. Дифракционная решётка имеет плотность штрихов 1000 мм^{-1} . Длина волны лазерного излучения равна 1мкм. Угол Литтрова первого порядка ($m=1$) равен

45°	60°	30°
------------	------------	------------

3. Дифракционная решётка имеет плотность штрихов 2000 мм^{-1} . Длина волны лазерного излучения равна 1мкм. Лазерный пучок падает на решётку под нормалью к её поверхности. Все разрешённые порядки дифракции:

$m=0; \pm 1$	$m=0; \pm 1; \pm 2$	$m=0$
--------------	---------------------	-------

4. Дифракционная решётка имеет плотность штрихов 2000 мм^{-1} . Длина волны лазерного излучения равна 1мкм. Лазерный пучок падает на решётку под углом 20° . Все разрешённые порядки дифракции:

$m=0; \pm 1$	$m=0; \pm 1; \pm 2$	$m=0; \pm 1; +2$
--------------	---------------------	------------------

5. Наибольшей угловой дисперсией обладает дифракционная решётка с плотностью штрихов:

1000 мм^{-1}	2000 мм^{-1}	1500 мм^{-1}
------------------------	------------------------	------------------------

5. Устройство удлинения и спектрального упорядочения лазерного импульса (стретчер). Компрессия чирпированных импульсов.

1. Частота импульса на выходе стретчера есть функция

$\omega_{cmp} = \omega_0$	$\omega_{cmp} = \omega_0 + 2\alpha t$	$\omega_{cmp} = \omega_0 + \alpha t^2$
---------------------------	---------------------------------------	--

2. Фаза импульса на выходе стретчера есть функция

$\Phi_{cmp} = \omega_0 t$	$\Phi_{cmp} = 2\alpha t$	$\Phi_{cmp} = \omega_0 t + \alpha t^2$
---------------------------	--------------------------	--

3. При Гауссовой временной форме лазерного импульса на входе в стретчер временная форма на выходе:

Гауссова	Лоренцева	Прямоугольная
----------	-----------	---------------

4. Длительность импульса на выходе диспергирующей системы с дисперсией второго порядка по сравнению с длительностью входного импульса:

Не изменяется	Уменьшается	Увеличивается
---------------	-------------	---------------

5. Квадратичная по времени добавка к фазе означает:

Частота импульса не зависит от времени	Частота импульса является линейной функцией времени	Частота импульса является квадратичной функцией времени
--	---	---

6. Дисперсия компрессора:

Должна иметь обратный знак по отношению к дисперсии стретчера	Должна иметь такой же знак, что и дисперсия стретчера	Должна быть =0
---	---	----------------

6. Усиление чирпированных лазерных импульсов.

1. Чирпированный лазерный импульс усиливается в активной среде оптического квантового усилителя, спектральная ширина полосы которой сравнима со спектральной шириной этого импульса. Длительность импульса при усилении будет:

Уменьшаться	Увеличиваться	Не изменится
-------------	---------------	--------------

2. При параметрическом усилении выполняются законы:

Сохранения энергии и импульса квантов	Сохранения энергии квантов	Сохранения импульса квантов
---------------------------------------	----------------------------	-----------------------------

3. При параметрическом усилении длина волны накачки равна 527 нм, длина сигнальной волны равна 911 нм. Длина волны холостой волны равна:

1460 нм	820 нм	1250 нм
---------	--------	---------

4. Фактором, ограничивающим выходную энергию (и мощность) лазерной системы с ультракороткой длительности импульса излучения, является:

Лучевая прочность дифракционных решёток компрессора	Лучевая прочность оптических элементов лазера	Лучевая прочность дифракционных решёток стретчера
---	---	---

5. Чирпированный лазерный импульс усиливается в активной среде оптического квантового усилителя, спектральная ширина полосы которой сравнима со спектральной шириной этого импульса. Спектральная ширина импульса при усилении будет:

Не изменится	Увеличиваться	Уменьшаться
--------------	---------------	-------------

7. Распространение сверхкоротких лазерных импульсов в диспергирующих средах.

1. В среде с нормальной дисперсией

$\frac{\partial n}{\partial \omega} = 0$	$\frac{\partial n}{\partial \omega} < 0$	$\frac{\partial n}{\partial \omega} > 0$
--	--	--

2. При прохождении дисперсионной длины в среде с квадратичной дисперсией длительность импульса по интенсивности:

Увеличивается в $\sqrt{2}$ раз	Увеличивается в e раз	Остаётся неизменной
--------------------------------	-------------------------	---------------------

3. Фаза импульса при распространении в среде с квадратичной дисперсией:

Не изменяется	Приобретает квадратичную зависимость от времени	Становится линейной от времени
---------------	---	--------------------------------

4. При прохождении среды с квадратичной дисперсией импульс приобретает:

Линейную частотную модуляцию	Квадратичную частотную модуляцию	С частотой импульса ничего не происходит
------------------------------	----------------------------------	--

5. Темп увеличения длительности при прохождении среды с квадратичной дисперсией тем больше, чем:

Не зависит от длительности исходного импульса	Длиннее длительность исходного импульса	Короче длительность исходного импульса
---	---	--

6. Темп увеличения длительности при прохождении среды с квадратичной дисперсией тем больше, чем:

Не зависит от второй дисперсии	Больше величина второй дисперсии	Меньше величина второй дисперсии
--------------------------------	----------------------------------	----------------------------------

8. Распространение сверхкоротких лазерных импульсов в нелинейных средах.

1. Фаза световой волны при прохождении нелинейной среды:

$\Phi(t, z) = \omega_0 t_0 - k_0 z n_2 I(t)$	$\Phi(t, z) = k_0 z n_0 - k_0 z n_2 I(t)$	$\Phi(t, z) = \omega_0 t - k_0 z n_0 - k_0 z n_2 I(t)$
--	---	--

2. Нелинейная добавка к показателю преломления пропорциональна:

Произведению интенсивности на длину распространения	Интенсивности пучка	Длине распространения в нелинейной среде
---	---------------------	--

3. При распространении импульсного лазерного излучения в нелинейной среде из-за самовоздействия:

Происходит уширение его спектра	Происходит сужение его спектра	Спектр не меняется
---------------------------------	--------------------------------	--------------------

4. Изменение спектра при распространении импульсного лазерного излучения в нелинейной среде из-за самовоздействия:

Прямо пропорционально	Обратно пропорционально	Не зависит от длительности
-----------------------	-------------------------	----------------------------

длительности исходного импульса	длительности исходного импульса	исходного импульса
---------------------------------	---------------------------------	--------------------

5. Изменение спектра при распространении импульсного лазерного излучения в нелинейной среде из-за самовоздействия:

Не зависит от интенсивности пучка	Пропорционально полю световой волны	Пропорционально интенсивности пучка
-----------------------------------	-------------------------------------	-------------------------------------

5.6. ВОПРОСЫ К ЗАЧЁТУ

- Численный расчёт временной формы электрического поля световой волны и интенсивности лазерного импульса заданной формы и длительности.
- Спектрально-ограниченный лазерный импульс. Связь между длительностью импульса и его спектральной шириной.
- Численный расчёт временной формы лазерного импульса при сложении заданного числа продольных мод с произвольно выбранными фазами.
- Численный расчёт спектрального состава излучения спектрально-ограниченного импульса известной временной формы и длительности.
- Уравнение дифракционной решётки. Определение возможных порядков дифракции, угла Литтрова.
- Расчёт дисперсии дифракционной решётки в различных порядках дифракции. Расчёт пространственных и угловых характеристик отражённого от дифракционной решётки широкополосного лазерного импульса.
- Придумать и обосновать схему измерения длины волны при отражении лазерного импульса от дифракционной решётки с известной плотностью штрихов.
- Придумать и обосновать схему измерения плотности штрихов при отражении от дифракционной решётки лазерного импульса с известной длиной волны.
- Численный расчёт длительности ультракороткого лазерного импульса при его распространении в среде с известной дисперсией групповых скоростей.

– 5.7. Шкалы оценки образовательных достижений

- Рейтинговая оценка знаний является интегральным показателем качества теоретических и практических знаний и навыков студентов по дисциплине и складывается из оценок, полученных в ходе текущего контроля и промежуточной аттестации.
- Результаты текущего контроля и промежуточной аттестации подводятся по шкале балльно-рейтинговой системы.
- Шкала каждого контрольного мероприятия лежит в пределах от 0 до установленного максимального балла включительно. Итоговая аттестация по дисциплине оцени-

вается по 100-балльной шкале и представляет собой сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущего и промежуточного контроля.

– Итоговая оценка выставляется в соответствии со следующей шкалой:

Сумма баллов	Оценка по 4-ех балльной шкале	Оценка ECTS	Требования к уровню освоению учебной дисциплины
90-100	5 – «отлично»	A	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответе материал монографической литературы.
85-89	4 – «хорошо»	B	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.
75-84		C	
70-74		D	
65-69	3 – «удовлетворительно»	E	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала.
60-64			
Ниже 60	2 – «неудовлетворительно»	F	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Н.Н.Рукавишников. Методическое пособие «Лазеры сверхкоротких импульсов». Саров, 2014г.
2. С.А.Ахманов, С.Ю.Никитин. «Физическая оптика» Издательство «Наука», Москва, 2004.

3. С. Шапиро. «Сверхкороткие световые импульсы» Издательство «Мир», Москва 1981 г.
4. Й. Херман, Б. Вильгельми. «Лазеры сверхкоротких световых импульсов» Издательство «Мир», Москва 1986 г.
5. С.А.Ахманов, В.А.Выслоухов, А.С.Чиркин. «Оптика фемтосекундных лазерных импульсов» Издательство «Наука», Москва 1988.
6. П. Г. Крюков. «Лазеры ультракоротких импульсов» *«Квантовая электроника»*, 31, №2, стр. 95-119, 2001.
7. В. С. Летохов. «Фемтосекундные лазерные импульсы: перспективы применения» *«Вестник Российской академии наук»*, том 72, №9 стр. 779-785, 2002 г.
8. С.Н.Багаев. «Фемтосекундная лазерная физика» *«Успехи современной радиоэлектроники»*, №5-6, 2004, стр.70-85.
9. П.Г.Крюков. Фемтосекундные импульсы. М., Физматлит, 2008г.
10. В.Е.Фортов. «Экстремальные состояния вещества на Земле и в космосе» *«Успехи физических наук»*, том 179, №6, 2009г., стр.653-687.
11. О.Звелто. «Принципы лазеров». М., Мир, 1990г.
12. А.Н.Зайдель, Г.В.Островская, Ю.И.Островский. «Техника и практика спектроскопии». Издательство «Наука», Москва 1976.

6.1. ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. А.Пискаркас, А.Стабинис и А.Янкаускас. «Фазовые явления в параметрических усилителях и генераторах сверхкоротких импульсов света». *«Успехи физических наук»*, 150, вып.1, стр. 127-143 (1986).
2. А.Джеррард, Дж.М.Бёрч. "Введение в матричную оптику". М., "Мир", 1978г.
3. Е.М.Дианов, П.В.Мамышев, А.М.Прохоров. Нелинейная волоконная оптика. *«Квантовая электроника»*, 15, №1, стр. 5-29, 1988.
4. TopicsinAppliedPhysics. Vol.60. "Ultrashort Laser Pulses, Generation and Applications". Edited by W.Kaiser. Springer-Verlag, Second Edition, 1993.
5. TopicsinAppliedPhysics. Vol.96. "Femtosecond Technology for Technical and Medical Applications". Springer. 2004.
6. ClaudRulliere (Ed.). "Femtosecond Laser Pulses. Principels and Experiments". Springer, Second Edition. 2005.
7. FrankTrager (Ed.) "SpringerHandbookofLasersandOptics". Springer, 2007.
8. Heinrich Schwoerer, Joseph Magill, BurgardBeleites (Eds.). «Lasers and Nuclei. Applications of Ultrahigh Intensity Lasers in Nuclear Science». Lect. NotesPhys. 694 (Springer, BerlinHeidelberg 2006).
9. Thomas Brabec, Editor. «Strong Field Laser Physics». Springer Series in optical sciences, 134. 2008.

10. Салех Б., Тейх М. «Оптика и фотоника. Принципы и применения». Издательский дом «Интеллект», Долгопрудный, 2012.
11. Сергеев А.М. «От петаваттных лазеров до нейроимиджинга». Наука в России, май-июнь 3/2007, Стр.53-59.
12. Хазанов Е.А., Сергеев А.М. «Петаваттные лазеры на основе оптических параметрических усилителей: состояние и перспективы». *Успехи физических наук*, 2008г., т.178, №9, стр.1006-1011.
13. Гаранин С.Г. «Мощные лазеры и их применение в исследованиях физики высоких плотностей энергии». *Успехи физических наук*, 2011г., т.181, №4, стр.434-441.
14. Коржиманов А.В., Гоносков А.А., Хазанов Е.А., Сергеев А.М. «Горизонты петаваттных лазерных комплексов». *Успехи физических наук*, 2011г., т.181, №1, стр.9-32.

6. 2. РЕСУРСЫ ИНТЕРНЕТ

1. Федеральный портал «Российское образование» (<http://www.edu.ru>).
2. Информационная система «Единое окно доступа к образовательным ресурсам» (<http://window.edu.ru>).
3. Сайт СарФТИ НИЯУ МИФИ (<http://sarfti.ru>), раздел «Учебно-методические пособия».
4. Виртуальная образовательная лаборатория (<http://www.virtulab.net>), раздел «Оптика».
5. Научно-образовательный портал «Вся физика» (<http://sfiz.ru>), раздел «Учебные материалы».

7 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ПК из расчета один ПК на одного человека с характеристиками:

IntelCorei5 илиCorei7, 8GbRAM, 500GBHDD, видеоадаптер NVIDIA не ниже 5 поколения либо AMDне ниже 7 поколения.

Программное обеспечение: MicrosoftWindows 7, Windows 8, MicrosoftOffice 2010.

7.1. РЕСУРСЫ ИНТЕРНЕТ

1. Федеральный портал «Российское образование» (<http://www.edu.ru>).
2. Информационная система «Единое окно доступа к образовательным ресурсам» (<http://window.edu.ru>).
3. Сайт СарФТИ НИЯУ МИФИ (<http://sarfti.ru>), раздел «Учебно-методические пособия».
4. Виртуальная образовательная лаборатория (<http://www.virtulab.net>), раздел «Оптика».
5. Научно-образовательный портал «Вся физика» (<http://sfiz.ru>), раздел «Учебные материалы».

8. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Учебным планом на изучение дисциплины отводится один семестр. Для контроля усвоения студентами разделов данного курса проводятся устные опросы по лекционным темам и тестирование. В конце семестра предусмотрен зачёт.

Обязательной является самостоятельная работа студентов, которая подразумевает проработку лекционного материала с использованием рекомендуемой литературы, а также решение заданий для самостоятельной работы.

На практических занятиях студенты рассчитывают реальные физические явления. При обсуждении тем лекционных занятий используются современные научные работы. Обязательным является самостоятельная работа студентов, выполнение индивидуальных заданий, работа с литературой.

В процессе обучения для студентов проводится лабораторная демонстрация действующего в научно-исследовательской лаборатории «Физика сверхсильных световых полей» СарФТИ субпикосекундного лазера тераваттного уровня мощности. Студенты также знакомятся с действующей в РФЯЦ-ВНИИЭФ одной из крупнейших в мире установок с петаваттной мощностью лазерного излучения.

При преподавании дисциплины методически целесообразно в каждом разделе выделять наиболее важные моменты и акцентировать на них внимание обучаемых. Предлагается:

- В первом разделе напомнить понятия плоской электромагнитной волны, её фазы, частоты, волнового вектора. Ввести понятие оптического сигнала (волнового пакета), дать способ его описания. Напомнить основы преобразования Фурье и его основных свойств. Дать типичные примеры преобразований Фурье, выражаемых аналитическими функциями. Ввести понятие спектра сигнала. Показать, как правильно делать переход от временной формы оптического сигнала к его спектральному составу. Ввести понятие спектрально-ограниченного импульса, вывести его основное свойство.
- Во втором разделе напомнить понятие продольных мод плоскопараллельного резонатора, их спектр. Вывести формулу для временной формы лазерного импульса при сложении большого числа синхронизованных мод. Акцентировать внимание на современных способах синхронизации мод (Керровская линза, насыщающийся поглотитель с малым временем релаксации).
- В третьем разделе вывести формулу для автокорреляционной функции в методе измерения длительности ультракороткого импульса с помощью интерферометра Майкельсона. Объяснить способ измерения АКФ одиночного импульса с помощью некоррелирующей генерации второй гармоники в нелинейном кристалле.

- В четвёртом разделе напомнить закон преломления применительно к призме, дать формулу дисперсии призмы. Вывести уравнение дифракционной решётки, объяснить правило знаков. Проанализировать частные случаи.
- В пятом разделе показать графически принцип работы стретчера и компрессора на дифракционных решётках. Описать лазерный импульс на выходе стретчера.
- В шестом разделе подробно описать принципы работы регенеративных усилителей. Описать и сравнить две современные схемы усиления чирпированных лазерных импульсов.
- В седьмом разделе вывести формулу, описывающую распространение гауссова импульса в диспергирующей среде, с учётом дисперсии второго порядка. Показать, как получается соотношение между фазовой и групповой скоростями света.
- В восьмом разделе напомнить, что такое нелинейный показатель преломления. Показать, какие новые физические эффекты возникают при распространении сверхкороткого лазерного импульса в нелинейной среде.

9. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ СТУДЕНТАМ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Учебная дисциплина обеспечена учебно-методической документацией и материалами. Ее содержание представлено в локальной сети факультета и кафедры и находится в режиме свободного доступа для студентов. Также выпущено методическое пособие «Лазеры сверхкоротких импульсов», включающее в себя полный текст изложения лекционного материала.

Рабочая программа дисциплины составлена в соответствии с ОС НИЯУ МИФИ (ФГОС) и учебным планом основной образовательной программы (программ).

Автор _____ доцент кафедры квантовой электроники,
к.ф.-м.н. Н.Н. Рукавишников

Программа одобрена на заседании кафедры КЭ