

**ՀՀ ԿՐԹՈՒԹՅԱՆ ԵՎ ԳԻՏՈՒԹՅԱՆ ՆԱԽԱՐԱՐՈՒԹՅՈՒՆ
ԵՐԵՎԱՆԻ ՊԵՏԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆ**

ԿԻՐԱԿՈՍՅԱՆ ԱՐԹՈՒՐ ԱԲՐԱՎՈՎԻՇ

**ԳԵՐԿԱՐԸ ԼԱԶԵՐԱՅԻՆ ԻՍՊՈՒՆՆԵՐԻ ԿԱՌԱՎԱՐՄԱՆ ԵՎ ԳՐԱՆՑՄԱՆ
ՍՊԵԿՏՐՈՍԿՈՊԻԿ ԵՂԱՆԱԿՆԵՐ**

**Ա.04.21 «Լազերային ֆիզիկա» մասնագիտությամբ
տեխնիկական գիտությունների թեկնածուի
գիտական աստիճանի հայցման ատենախոսությամբ**

Ս Ե Ղ Մ Ա Գ Ի Ր

ԵՐԵՎԱՆ – 2012

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РА
ЕРЕВАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

КИРАКОСЯН АРТУР АБРАМОВИЧ

**СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ РЕГИСТРАЦИИ И
УПРАВЛЕНИЯ СВЕРХКОРОТКИХ ИМПУЛЬСОВ**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

**Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук по специальности
01.04.21-Лазерная физика**

ЕРЕВАН – 2012

Ատենախոսության թեման հաստատվել է Երևանի պետական համալսարանում:

Գիտական ղեկավար՝ ֆիզ-մաթ. գիտ. թեկնածու
Գ. Լ. Եսայան
Պաշտոնական ընդդիմախոսներ՝ ֆիզ-մաթ. գիտ. դոկտոր
Խ. Վ. Ներկարարյան
տեխ. գիտ. թեկնածու
Ա. Հ. Վարդանյան

Առաջատար կազմակերպություն՝ Հայաստանի Պետական
Ճարտարագիտական Համալսարան

Ատենախոսության պաշտպանությունը տեղի կունենա «25» հունվարի, 2013թ., ժամը 15:00-ին, Երևանի պետական համալսարանի 049 մասնագիտական խորհրդի միստում: Հասցեն՝ 0025, Երևան, Ալեք Մանուկյան 1:

Ատենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ ԵՊՀ գրադարանում:
Սեղմագիրն առաքված է «25» դեկտեմբերի 2012թ.:

Մասնագիտական խորհրդի
գիտական քարտուղար՝  ֆիզ-մաթ. գիտ. թեկնածու
Վ. Պ. Քալանթարյան

Тема диссертации утверждена в Ереванском государственном университете.

Научный руководитель: кандидат физ-мат. наук
Г. Л. Есаян
Официальные оппоненты: док. физ-мат. наук
Х. В. Неркарарян
кандидат. техн. наук
А. О. Варданян

Ведущая организация: Государственный Инженерный
Университет Армении

Защита диссертации состоится “25” января 2013г. в 15:00 часов на заседании специализированного совета 049 Ереванского государственного университета по адресу: 0025, Ереван, ул. Алека Манукяна 1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЕГУ.
Автореферат разослан “25” декабря 2012г.

Ученый секретарь
специализированного совета  кандидат физ-мат. наук
В. П. Калантарян

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы

Лазерные сверхкороткие импульсы (СКИ) в настоящее время нашли широкое применение в различных областях современной науки и техники и являются важнейшим научно-техническим инструментом исследования. Успехи в технике генерации пико- и фемтосекундных СКИ дали толчок развитию таких областей современной науки и техники, какими являются нелинейная оптика, лазерная спектроскопия, сверхбыстрая фотоника, физика сверхмощных полей и т.д. Лазерные СКИ предоставили уникальную возможность прямого наблюдения и измерения самых различных быстропротекающих процессов с высоким временным разрешением. Фемтосекундные СКИ впервые позволили наблюдать в реальном времени динамику быстропротекающих элементарных молекулярных процессов и получить мгновенные снимки молекул и групп атомов на различных стадиях химических реакций, что стимулировало рождение таких новых научных дисциплин, как фемтобиология и фемтохимия. Переход в оптике к фемтосекундному масштабу времени справедливо сравнивают с революционными изменениями в пространственном разрешении оптических приборов, последовавшими за изобретением микроскопа. Высокая концентрация энергии при фокусировке фемтосекундных лазерных пучков обеспечивает возможность проведения исключительно тонких операций в офтальмологии и нейрохирургии. Пикосекундные импульсы, в настоящее время, все больше используются в системах передачи информации на основе волоконно-оптических линий связи. В связи с этим, возрастает интерес к вопросам генерации и распространения оптических солитонов, в частности к темным солитонам, как к более устойчивым к энергетическим потерям. Освоение пико - фемтосекундных временных интервалов выдвинуло множество новых физических и технических задач, связанных с регистрацией, управлением и переносом сверхбыстрого сигнала.

Освоение фемтосекундных временных интервалов выдвинуло множество новых физических и технических задач связанных с регистрацией, управлением и переносом СКИ. Среди них имеет место ряд важных нерешенных задач, в частности:

- Несмотря на существование различных дисперсионных линий задержек, широко применяемых в технике генерации, спектральной и временной компрессии СКИ пикосекундной и фемтосекундной длительности, отсутствуют устройства, позволяющие формировать импульсы данной длительности и данного знака и значения chirpa.
- Несмотря на существование ряда методов регистрации длительности СКИ, отсутствует простой способ определения длительности импульса, позволяющий определить не только длительность, но и величину и знак chirpa импульса.
- Несмотря на наличие многих работ, направленных на генерацию солитонов, отсутствуют простые (легко осуществимые) системы генерации темных временных солитонов.

Целью и задачами диссертационной работы являются разработка новых, простых и доступных схем для применения в задачах регистрации и управления сверхбыстрой оптики и фотоники, в частности:

- Исследование возможности разработки дисперсионной линии задержки на основе схемы спектроскопа, с целью получения системы с малыми размерами,

позволяющей управлять знаком и величиной чирпа пикосекундных и фемтосекундных импульсов.

- Исследования, направленные на разработку новых, простых методов регистрации длительности СКИ, основанных на нелинейных эффектах, в качестве альтернативы к широко применяемому корреляционному методу.
- Исследование возможности разработки новых эффективных схем для генерации темных временных солитонов, представляющих интерес с точки зрения применения в области оптической связи и телекоммуникаций, что обусловлено их большей, по сравнению со светлыми солитонами, устойчивостью к энергетическим потерям.

Научно-техническая новизна диссертационной работы

- Разработаны и реализованы новые, альтернативные к традиционной дисперсионной линии задержки устройства, основанные на принципе спектрометра, состоящие из линз, дифракционной решетки (или призмы) и зеркала, позволяющие формировать импульсы заданной длительности и заданного значения и знака чирпа.
- Впервые разработан и испытан метод измерения пикосекундных лазерных импульсов, основанный на измерении уширения спектра импульса вследствие фазовой самомодуляции в одномодовом световоде. Метод позволяет по характеру поведения кривых спектрального уширения излучения, определить как величину, так и знак чирпа импульса.
- Для генерации и исследования темных временных солитонов, с помощью методов численного моделирования разработана система, состоящая из дисперсионной линии задержки, фильтрующего элемента и одномодового волоконного световода. В системе, из темного импульса, сформированного на выходе дисперсионной линии задержки, в световоде формируется темный временной солитон.

Практическая ценность диссертационной работы

Проведенные исследования по теме диссертационной работы, послужили основой для разработки новых, эффективных методов управления и регистрации сигнала в сверхбыстрой оптике и фотонике, в частности:

- Разработанные и реализованные устройства, альтернативные к традиционной дисперсионной линии задержки, применяемой для генерации и управления лазерными импульсами, могут найти широкое применение в технике формирования импульсов пико-фемтосекундной длительности и управления их параметрами, в частности, в схемах спектральной и временной компрессии. Преимуществами новых устройств являются компактность и возможность изменения не только величины дисперсии, но и ее знака.
- Разработанный метод измерения пикосекундных лазерных импульсов, основанный на измерении спектрального уширения импульса вследствие фазовой самомодуляции в одномодовом волоконном световоде, может служить альтернативой к широко распространенному автокорреляционному методу измерения длительностей импульсов. Метод технически легко реализуем, и может оказаться особенно полезным в процессе наладки пико- и фемтосекундных лазеров, при оптимизации их генерации по длительности импульса.

- Модифицированная система спектральной компрессии позволяет существенно облегчить генерацию темных солитонов и может найти применения в оптоволоконных коммуникационных системах.

На защиту выносятся следующие положения:

- В системе состоящей из дифракционной решетки (или призмы), линзы и зеркала, установка дополнительной линзы в фокальной плоскости первой линзы в качестве фазовой маски, приводит к дисперсионному удлинению и chirпированию отраженного от зеркала сверхкороткого импульса. Такая система, путем подбора оптической силы и знака линзы, служащей фазовой маской, позволяет управлять chirпом и длительностью импульса.
- В одномодовом световоде измерение величины спектрального уширения пикосекундных импульсов вследствие фазовой самомодуляции, позволяет определить длительность импульсов. Такой метод регистрации пикосекундных импульсов позволяет определить как величину, так и знак chirпа.
- Амплитудно-фазовая фильтрация импульсного излучения в двухпроходной дисперсионной линии задержки, сообщающая половине спектра фазовый сдвиг π (с точностью 3%), приводит к формированию темного импульса на выходе из дисперсионной линии задержки (с длительностью равной 30% от дисперсионно удлиненного начального импульса) из которого в световоде генерируется темный временной солитон (с длительностью равной 10% от темного импульса).

Апробация работы

Результаты работы докладывались на конференциях Int. Conf. LASERS' 2001, Tucson, Arizona, Int. Conf. on Lasers, Applications, and Technologies (IQEC-LAT'2002), Moscow, 22-28 June (2002), Conference on "Laser Physics - 2006", "Laser Physics – 2007", Ashtarak, Armenia, OSA, YOS, 2007, Ashtarak&Yerevan, Armenia и обсуждались на семинарах кафедр квантовой электроники и оптики физического факультета ЕГУ.

Публикации

По материалам диссертации опубликовано 13 работ, список которых приведен в конце автореферата. Работы [3-10] выполнены в рамках международного проекта "Наука во имя Мира" SfP 978027, а работы [11-13] выполнены в рамках совместного проекта CNRS (Франция) – ГКН (Армения) No. IE007.

Структура и объем работы

Диссертация состоит из введения (включающего в себя обзор соответствующей литературы), трех глав, заключения и списка литературы. Общий объем работы составляет 104 страниц, включая 27 рисунков и библиографию, содержащую 148 наименований.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении освещены современное состояние исследований в области лазерной физики и сверхбыстрой оптики, методы регистрации и управления сверхкороткими импульсами, процессы самовоздействия сверхкоротких импульсов в световодах, а также формирование и распространение солитонов в световодах. Обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи диссертационной работы. В конце введения приведена структура диссертации, ее краткое содержание, научная новизна, практическая ценность, защищаемые положения, места апробации и список публикаций по теме работы.

Первая глава посвящена исследованию, разработке и испытанию новой дисперсионной линии задержки (ДЛЗ). Существующие ДЛЗ на основе пары дифракционных решеток или призм в настоящее время широко применяются в задачах генерации и управления лазерными импульсами пикосекундной и фемтосекундной длительности. Экспериментально исследована новая схема ДЛЗ, состоящая из дисперсионного элемента, двух линз, и возвращающего зеркала. В качестве дисперсионного элемента в одном случае была применена призма, а в другом случае дифракционная решетка. Показано, что схема позволяет сообщить импульсу и положительный и отрицательный чирп. Экспериментально показано, что предложенная схема применима для формирования чирпированных импульсов заданной длительности (заданного чирпа) в пико-фемтосекундном временном интервале.

В §1.1 исследована система альтернативной ДЛЗ состоящая из дифракционной решетки, двух линз и возвращающего зеркала (рис.1). Обсуждена схема ДЛЗ, состоящая из дифракционной решетки, собирающей линзы L_0 , второй линзы L , расположенной в фокальной плоскости первой и отражающего зеркала, расположенного вплотную со второй линзой. Пространственное распределение пучка после дифракционной решетки, в фокальной плоскости линзы L_0 , повторяет спектральное распределение излучения. Помещение фазовой маски в фокальной плоскости линзы L_0 сообщает пространственно распределенному спектру излучения дополнительную фазу.

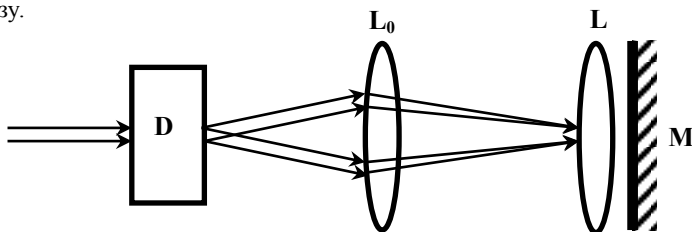


Рис.1. Принципиальная схема экспериментальной установки.

D - дисперсионный элемент, L_0 - линза с оптической силой D_0 , L - линза выполняющую функцию фазовой маски, M - отражающее зеркало.

Использование линзы в качестве фазовой маски приводит к дополнительной параболической спектральной фазе излучения и, при отсутствии у него начальной фазы, к удлинению импульса. При этом, чем больше оптическая сила линзы, тем больше величина параболической спектральной фазы и, соответственно, степень удлине-

ния импульса. Для входного гауссовского импульса, с длительностью $\tau_{\text{вх}}$, шириной спектра $\Delta\omega_0$, и начальной спектральной фазой $\phi_0(\omega) = -\beta(\omega - \omega_0)^2 / 2$ (ω – текущая и ω_0 – центральная частоты излучения), величина относительного удлинения импульса на выходе системы задаются следующим выражением:

$$\frac{\tau_{\text{вых}}}{\tau_{\text{вх}}} = \sqrt{1 + \frac{q_{\text{реш}} D (2\beta + q_{\text{реш}} D)}{\beta^2 + \Delta\omega_0^{-4}}} \quad (1),$$

где $\tau_{\text{вых}}$ – длительность импульса на выходе из системы, коэффициент $q_{\text{реш}} = 4\pi m^2 c (d^2 \omega_0^3 D_0^2 \cos^2 \varphi)^{-1}$ задается параметрами оптической системы на заданной частоте излучения ω_0 и угле падения на дифракционную решетку, определяющем угол дифракции φ : D и D_0 – оптические силы линз L и L_0 , d – постоянная дифракционной решетки, m – порядок дифракции (c – скорость света). Далее представлены экспериментальные исследования новой ДЛЗ для пикосекундных СКИ. В эксперименте задающим генератором служил квазинепрерывный лазер Antares 76S. Частота повторения импульсов 76МГц, длина волны излучения равна 1.06 мкм, средняя мощность 6Вт, длительность импульса на полувысоте 100 пс, диаметр пучка – 1.3мм. В эксперименте применялась дифракционная решетка с постоянной решетки равной $d = 300 \text{ мм}^{-1}$. Дифракционная решетка и зеркало были помещены в фокальных плоскостях линзы L_0 . Помещая перед зеркалом линзу L , мы сообщаем спектру импульса параболическую фазу, т.е. линейный чирп. В эксперименте для измерения относительного удлинения импульса использован метод, основанный на энергетических измерениях: измерялась средняя мощность второй гармоники излучения, сгенерированной в кристалле KDP, которая при заданной средней мощности основного излучения обратно пропорциональна длительности импульса до нелинейного кристалла. На рис.2, приведена экспериментальная кривая зависимости величины относительного удлинения СКИ от оптической силы D линзы помещенной перед отражающим зеркалом. Видно, что чем больше оптическая сила линзы, тем больше степень удлинения импульса. Экспериментально получено трехкратное удлинение импульса в системе.

В §1.2 исследована схема альтернативной линии задержки для фемтосекундных СКИ, состоящая из призмы, в качестве дисперсионного элемента, двух линз и возвращающего зеркала. Вначале обсуждается принцип компактной призмочно-линзовой ДЛЗ с возможностью положительного и отрицательного чирпирования импульсов. Величина и знак наведенного дисперсией чирпа задаются оптической силой линзы, входящей в систему, при этом знак и величину чирпа можно менять без изменения хода лучей в системе, что позволяет избежать необходимости подюстировки экспериментальной установки. Для спектрометрической системы, состоящей из линз с оптическими силами D_0 , D и из N одинаковых призм, установленных под минимальным углом отклонения, величина относительного удлинения импульса $\tau_{\text{вых}} / \tau_{\text{вх}}$ на выходе системы определяется формулой (1), с коэффици-

ентом $q_{\text{призм}}$ вместо $q_{\text{реш}}$: $q_{\text{призм}} = 16\pi^2 c N^2 (dn/d\lambda)^2 \times \text{Sin}^2(\varphi/2) D_0^{-2} \omega^{-3} [1 - n^2 \text{Sin}(\varphi/2)]^{-1}$, где φ – угол вершины призмы, n – коэффициент преломления, c – скорость света.

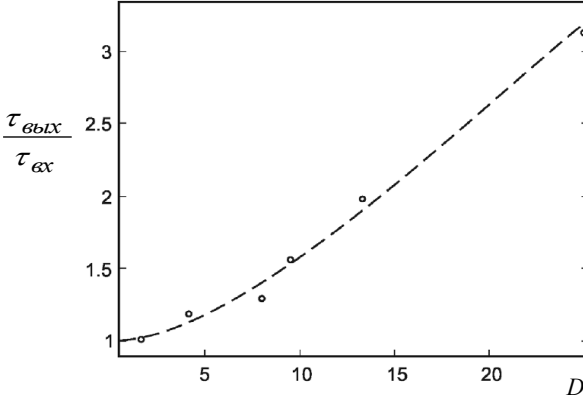


Рис.2. Экспериментальная кривая зависимости величины относительного удлинения импульса $\tau_{\text{вых}} / \tau_{\text{вх}}$ от оптической силы D (м^{-1}) линзы.

Далее представлены результаты экспериментальных исследований схемы призмочно-линзовой ДЛЗ. В эксперименте в качестве источника импульсов используется излучение фемтосекундной лазерной системы Coherent Verdi V10-Mira 900F с параметрами излучения: длина волны 800 нм, длительность импульса на полувысоте ~ 100 фс, средняя мощность ~ 1.5 Вт, частота повторения – 76МГц. Предложенное устройство состоит из дисперсионной призмы и линзы L_0 , в качестве простейшего спектрометра, линзы L в качестве фазовой маски и зеркала M с высоким коэффициентом отражения (рис.1). Дисперсионная призма и фазовая маска L расположены соответственно в передней и задней фокальных плоскостях линзы L_0 . Дисперсионная призма осуществляет разложение частотного спектра по углам. С помощью линзы L_0 , у зеркала имеем разложение спектральных компонент по поперечной пространственной координате x , что дает возможность с помощью пространственной фазовой маски управлять спектральной фазой излучения. В эксперименте для управления спектральной фазой излучения, в качестве фазовой маски применялись линзы разной оптической силы. Чтобы сообщить импульсу отрицательный или положительный чирп, использовались соответственно собирающие и рассеивающие линзы. В ходе эксперимента, с помощью коррелятора APE Pulse Check – 50, записывались корреляционные функции интенсивности на входе в предложенную призмочно-линзовую ДЛЗ и на выходе из нее. Исследование относительного удлинения импульса в зависимости от оптической силы линзы показывало, что чем больше оптическая сила линзы, тем больше степень удлинения импульса, и она не зависит от знака чирпа. Поскольку в схеме спектр импульса не меняется, следо-

вательно удлинение импульсов связано с наведенной спектральной фазой. Экспериментальные результаты находятся в хорошем соответствии с формулой (1).

Во второй главе представлены исследования по разработке и испытанию нового метода измерений длительности лазерных СКИ, основанного на измерении спектра излучения, уширенного вследствие фазовой самомодуляции в одномодовом световоде. В широком спектре современных методов диагностики СКИ важное место занимают методы, основанные на спектрометрии излучения взаимодействующего со средой. Так, методы FROG [2], SPIDER [3] или SPIRIT [4] позволяют расшифровать спектрограммы, решая обратную задачу рассеяния с помощью итеративных или безытеративных процедур и восстановить исходную временную огибающую СКИ с фемтосекундным разрешением. Метод STI [5] переводит временную информацию в спектр излучения (нелинейно-оптический процесс Фурье-преобразования), позволяя непосредственно – без дополнительных математических процедур, регистрировать временной профиль СКИ, тем самым, решая задачу сверхбыстрого осциллографа. Вместе с тем, для многих задач лазерной физики вполне удовлетворительна информация лишь о длительности СКИ, и наиболее распространенным устройством диагностики остается традиционный автокоррелятор [6,7]. Предметом данной главы являются исследования направленные на разработку альтернативного автокоррелятору устройства, позволяющего определить длительность СКИ на основе измерения уширения спектра излучения при его самовоздействии в среде с кубической нелинейностью.

В § 2.1 обсуждаются особенности самовоздействия СКИ в одномодовом световоде. Самовоздействие СКИ в среде с кубической (керровской) нелинейностью приводит к фазовой самомодуляции (ФСМ) излучения. Частотная добавка для СКИ с временной огибающей интенсивности $I(t)$ на длине волны λ составляет $\delta\omega(t) = -(2\pi/\lambda)n_2zI'(t)$, на расстоянии z среды с керровским коэффициентом n_2 , в приближении плоской волны и мгновенности нелинейного отклика. При заданных параметрах среды, величина спектрального уширения определяется параметрами излучения. Так, для максимального частотного смещения имеем $\Delta\omega = Cw/\tau_0^2$, где w – энергия СКИ, τ_0 – его длительность. Постоянная C для СКИ с гауссовой огибающей имеет значение $C = 4\pi(2/e)^{1/2}(s\lambda)^{-1}n_2z$, где s – площадь поперечного сечения пучка в среде. В случае квазинепрерывного излучения, удобно измерять не w энергию одиночного СКИ, а среднюю мощность $p = w\nu$, где ν – частота повторения. Тогда, для ФСМ-уширенного спектра

$$\Delta\omega \sim p/\tau_0^2, \quad (2)$$

т. е. спектральная ширина выходного излучения $\Delta\omega$ несет информацию о начальной длительности импульса τ_0 . Таким образом, задача определения длительности СКИ может быть сведена к измерению уширения спектра излучения вследствие фазовой самомодуляции в среде, и энергии СКИ или средней мощности. В § 2.1.1 представлены расчеты спектрального уширения chirпированных СКИ при их самовоздействии в среде с керровской нелинейностью, в отсутствие дисперсии. Расчетные кривые спектрального уширения $\Delta\omega/\Delta\omega_0$ от индуцированной фазы

$2\pi z I_0 / \lambda$ (I_0 - пиковое значение интенсивности СКИ) показывают линейный характер зависимости при больших уширениях спектра ($\Delta\omega / \Delta\omega_0 \gg 1$). При этом угол наклона кривых зависит от величины начального chirpa, независимо от его знака (рис.3а).

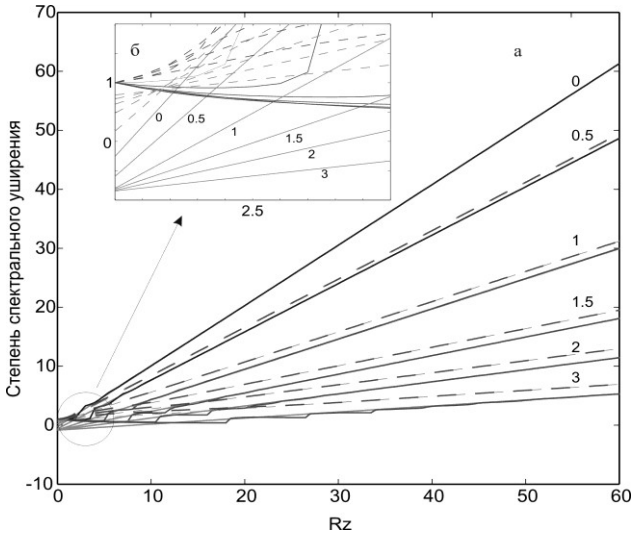


Рис.3. Степень спектрального уширения СКИ в среде с керровской нелинейностью $\Delta\omega / \Delta\omega_0$ в зависимости от индуцированной фазы $Rz = 2\pi z I_0 / \lambda$, при разных значениях коэффициента начальной спектральной фазы (а). Кривые уширений спектра в области малых значений ($\Delta\omega \sim 1$; б) позволяют определить знак chirpa начального СКИ.

Информация о знаке chirpa начального СКИ содержится в области малых значений спектрального уширения ($\Delta\omega / \Delta\omega_0 \sim 1$; рис. 3б). Далее представлены экспериментальные исследования нелинейного самовоздействия СКИ в световоде, нацеленные на разработку нового метода диагностики СКИ на основе измерения уширения спектра излучения. В эксперименте, в качестве источника СКИ использовался квазинепрерывный YAG:Nd-лазер Antares 76S, с параметрами излучения: длина волны – 1.06 мкм, полная длительность СКИ на полувысоте – 100пс, частота повторения – $\nu = 76$ МГц, средняя мощность $p = 6$ Вт. В качестве среды с кубической нелинейностью использовался стандартный одномодовый световод длиной 150 м, что позволяло пренебречь дисперсионными эффектами в световоде. На рис. 4 представлены экспериментальные кривые зависимости спектрального уширения от средней мощности излучения в световоде. Разные кривые относятся к СКИ с разными начальными длительностями. Экспериментальные кривые находятся в хорошем соответствии с расчетными.

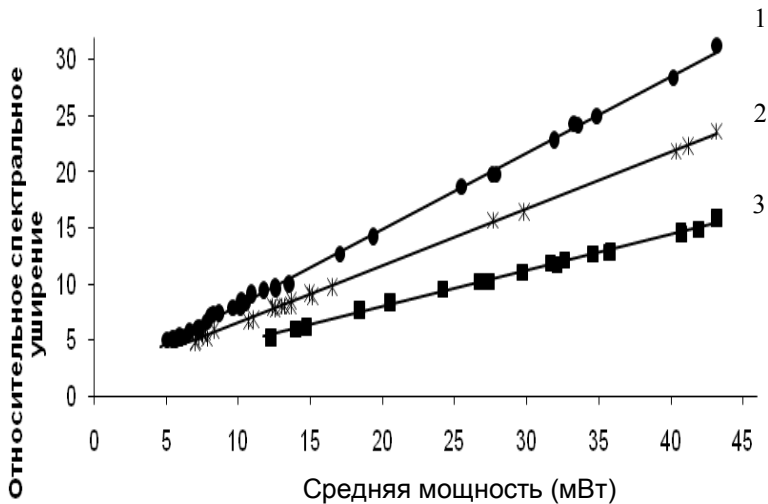


Рис. 4. Экспериментальные зависимости спектрального уширения от средней мощности излучения при нелинейном самовоздействии в световоде СКИ с разными начальными длительностями: $\Delta t = 100$ пс (1); $\Delta t = 155$ пс (2); $\Delta t = 200$ пс (3).

§ 2.2 посвящен разработке метода диагностики лазерных СКИ, основанного на измерении спектра излучения, уширенного вследствие фазовой самомодуляции. В разработанном и апробированном методе, СКИ пропускается через среду с кубической нелинейностью и на выходе измеряется спектр излучения. Длительность СКИ, в согласии с формулой (2), определяется как $\Delta t \sim (p / \Delta\omega)^{1/2}$. Таким образом, задача определения длительности СКИ сводится к измерению ширины ФСМ-уширенного спектра и средней мощности излучения (или энергии СКИ). В контексте области применимости метода, обсуждены компоненты устройства для пикосекундных и фемтосекундных СКИ. Для СКИ длительностью ~ 100 пс в качестве среды с кубической нелинейностью используется одномодовый кварцевый световод длиной 150 м. В области $\Delta t \sim 1$ пс, во избежание дисперсионных эффектов, в предлагаемом устройстве следует использовать короткий отрезок световода (~ 1 м). Длина световода должна удовлетворять условию $z \ll L_S = (L_D L_{NL})^{1/2}$, где L_D и L_{NL} – характерные дисперсионная и нелинейная длины [1]. В кварцевых световодах, для пикосекундных СКИ типичных генераторов с длительностью 100 пс, это условие легко осуществимо, так как $L_S \sim 1$ км. Для фемтосекундных СКИ величина $L_S \sim 1$ см для кварцевых световодов, и применение предлагаемого метода возможно при использовании специальных световодов со слабой дисперсией. Для измерений ФСМ-уширения спектров с шириной $\Delta\lambda \geq 1$ нм вместо спектрометров достаточно использовать дифракционную решетку. Контрольные энергетические измерения, в

этом случае, могут проводиться в нулевом порядке дифракции. Таким образом, измерения длительности СКИ предлагаемым методом могут проводиться в простом устройстве, состоящем из отрезка световода и дифракционной решетки. Отметим, что данный метод позволяет также отличить отрицательный или положительный чирп исходного СКИ по характеру ФСМ-спектров, что весьма полезно в процессе наладки пико- и фемтосекундных лазеров, при оптимизации их генерации по длительности СКИ.

В третьей главе представлены результаты исследований, направленных на разработку системы генерации темных временных солитонов. Оптические солитоны, в силу возможности их экспериментальной реализации, и тем самым, оптического моделирования исследуемых процессов, представляют академический интерес для многих направлений современной науки, разных – по мере разнообразия волновых явлений. Вместе с тем, интерес к явлениям типа солитообразования все возрастает с технической точки зрения, в связи с развитием оптической связи и телекоммуникации. С этой прикладной точки зрения особенно интересны темные солитоны, отличающиеся устойчивостью к энергетическим потерям. В настоящей главе для генерации и исследования темных солитонов разработана система на основе схемы спектральной компрессии, в которой образование темных солитонов осуществляется путем самоформирования. Предлагаемая система состоит из ДЛЗ с дополнительным спектральным фильтрующим элементом и одномодового волоконного световода. В системе, из темного импульса, образованного на выходе ДЛЗ с фильтром, в световоде формируется темный временной солитон.

В § 3.1 приведена и обоснована математическая модель и методика численного моделирования процесса самоформирования темного солитона в простом устройстве, состоящем из ДЛЗ с фильтром и одномодового волоконного световода, обсуждены вопросы адекватности и определена область применимости модели. Описание самовоздействия пико-фемтосекундного СКИ в одномодовом световоде основано на нелинейном уравнении Шредингера для нормированной комплексной амплитуды временной огибающей, в соответствии с [1]. Моделирование ДЛЗ, как линейной дисперсионной среды, сводится к решению уравнения с нулевой нелинейностью и отрицательной дисперсией групповых скоростей. При численных исследованиях уравнения, описывающего самовоздействие СКИ в одномодовом волоконном световоде, использовался метод расщепления по физическим факторам с применением алгоритма быстрого преобразования Фурье на дисперсионном шаге.

В § 3.2 проведен детальный анализ новой системы генерации темных солитонов на основе результатов численного моделирования, выработаны практические рекомендации к выбору параметров компонент системы при заданных параметрах излучения. Подробно изучена физическая картина процесса. Генерация темного солитона осуществляется в два этапа. Сначала из светлого импульса в ДЛЗ формируется темный импульс с длительностью в 2-3 раза меньшей, чем у удлиненного импульса. Темный импульс в ДЛЗ формируется при помощи пространственной фильтрации пучка излучения в части схемы, где имеет место взаимодназначное соответствие между пространственным и спектральным распределением излучения: амплитудно-фазовый фильтр помещается после пары параллельно расположенных дифракционных решеток (или дисперсионных призм). После первой решетки (призмы) имеет место угловое разделение спектральных компонент излучения. Во второй решетке (призме) пучок коллимируется, и спектрально-угловое распределение

пучка переходит в спектрально-пространственное. В результате, в плоскости вращающегося зеркала имеем распределение спектра излучения по координате x , что позволяет осуществить пространственное управление амплитудой и фазой спектра. Для этого перед зеркалом помещается амплитудно-фазовый фильтр, который сообщает половине спектра излучения сдвиг фазы π по отношению к другой половине, и вырезает узкую полосу в середине спектра излучения. Далее в световоде происходит самоформирование темного солитона. Проведены детальные исследования режимов генерации темных солитонов в описанной системе. Исследования для необходимой точности фазового сдвига π , в области отклонений $0 \div 30\%$, показывают, что требуемая точность составляет $\leq 10\%$. Исследование устойчивости системы к погрешностям установки фильтра, проведенные в области отклонений от центра спектра на треть спектра, показывают, что отклонения $\delta\omega$ не должны превышать 25% спектральной ширины $\Delta\omega$. При прохождении через ДЛЗ импульс приобретает отрицательный chirp. Темный импульс, сформированный в ДЛЗ, при дальнейшем распространении в световоде, 5-10кратно сжимался. Численные исследования в области длины световода до $z=10L_D$ показывают, в световоде на расстояниях $z=(5 \div 7)L_D$, из темного импульса самоформируется темный солитонный импульс, сохраняющий форму и длительность тогда как светлый фоновый импульс сильно деформируется. На рис. 5 приведены временные профили импульса на разных длинах световода. Видно, что темный импульс практически не изменяет свои параметры, тогда как фоновый светлый импульс сильно искажается.

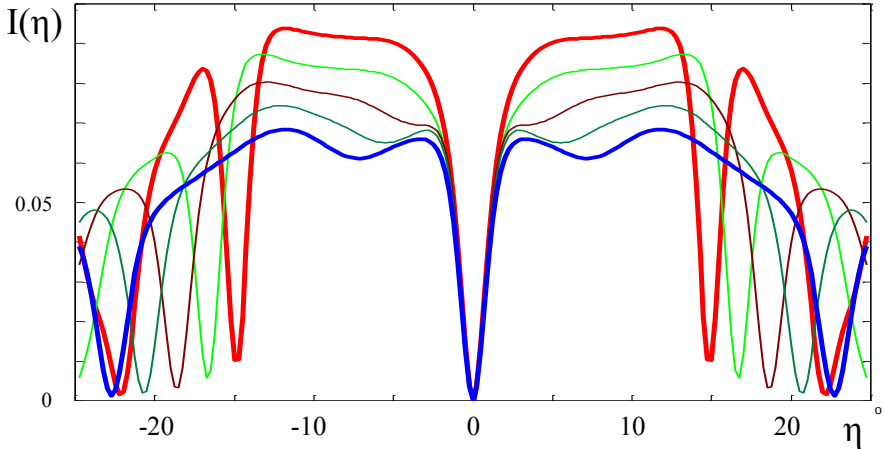


Рис. 5. Временные огибающие интенсивности для длин световода $z=(5 \div 7)L_D$.

На рис. 6 приведены кривые зависимости длительности темных импульсов с разными начальными длительностями $\Delta\tau$ для световодов разных длин. Видно, что вне зависимости от начальной длительности темного импульса или длины световода, на длинах световода $z=(6 \div 14)L_D$, длительность темного импульса практически постоянна, в соответствии с солитонным поведением.

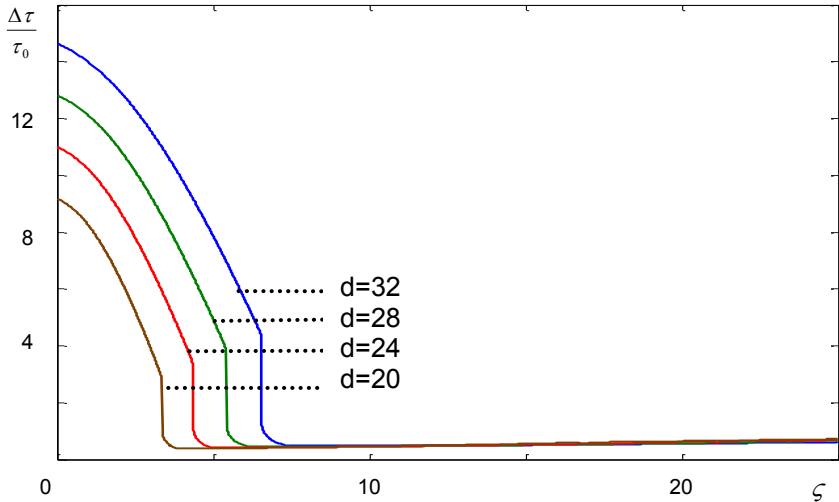


Рис.6. Зависимость длительности темного импульса от длины световода для разных значений ДЛЗ (в безразмерных единицах).

Таким образом, на длинах световода $z = (0 \div 5)L_D$ происходит процесс самоформирования темного солитона из темного импульса. Далее, на длинах световода $z \geq 5L_D$ имеет место его солитонное распространение. В области длин световода $z = (5 \div 14)L_D$, где дисперсионное уширение светлого фонового импульса составляет 2.5, длительность темного солитона постоянна с точностью $\sim 3\%$. При этом самоформирование темного солитона происходит вне зависимости от начальной длительности темного импульса.

Цитируемая литература

1. С.А.Ахманов, В.А.Высолюх, А.С.Чиркин. Оптика фемтосекундных лазерных импульсов, М. Наука (1988). / G.P. Agrawal. Nonlinear Fiber Optics (4th Ed.), Academic Press, Boston (2007).
2. D.J.Kane, R.Trebino "Characterisation of Arbitrary Femtosecond Pulses Using Frequency-resolved Optical Gating", IEEE J. Quantum Electron. **29**, No. 2, 571-579 (1993),
3. C.Iaconis, I.A.Walmsley "Spectral phase interferometry for direct electric-field reconstruction of ultrashort optical pulses" Opt.Lett.**23**, 792-794 (1998).
4. M.Lelek, F.Louradour, A.Barthélémy, C.Froehly, T.Mansourian, L.Mouradian, J.-P.Chambaret, G.Chériaux, B.Mercier, "Two-dimensional spectral shearing interferometry resolved in time for ultrashort optical pulse characterization," J. Opt. Soc. Am. B **25**, A17-A24 (2008).
5. L.Kh.Mouradian, F.Louradour, V.Messenger, A.Barthélémy, C.Froehly, "Spectro-temporal imaging of femtosecond events" IEEE J. Quantum Electron. **36**, pp.795-801 (2000).
6. M.Maier, W.Kaiser, J.A.Giordmaine, "Intense Light Bursts in the Stimulated Raman Effect", Phys. Rev. Lett. **17**, pp.1275-1277, Dec. (1960).
7. Y.Taguchi, R.Alfano, Y.Budansky, "SHG autocorrelator", US patent, No. 4973160 (1990).

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Экспериментально исследована новая схема дисперсионной линии задержки, состоящая из дисперсионного элемента, двух линз и возвращающего зеркала. Для фемтосекундных импульсов в качестве дисперсионного элемента применяется призма, а для пикосекундных импульсов – дифракционная решетка. Показано, что в задней фокальной плоскости линзы, расположенной после дисперсионного элемента, устанавливая зеркало и рассеивающую или собирающую линзу непосредственно перед зеркалом, можно сообщить импульсу соответственно положительный или отрицательный chirp. Величина chirp зависит от силы линзы, расположенной в фокальной плоскости – чем больше его оптическая сила, тем больше удлинение импульса.
2. Разработана и реализована новая система дисперсионной линии задержки, альтернативная традиционным устройствам на базе пары дифракционных решеток или дисперсионных призм. Предложенная схема применима в пико-фемтосекундном временном интервале, в частности, в схемах временной и спектральной компрессии, для формирования импульсов заданной длительности (заданного chirp). Преимуществами новой системы является ее компактность и возможность управления величиной и знаком дисперсии.
3. Численными и экспериментальными исследованиями показано, что в среде с кубической нелинейностью при больших значениях спектрального уширения СКИ, зависимость величины спектрального уширения, вследствие фазовой самомодуляции в одномодовом световоде, от его интенсивности становится линейной.
4. Разработан и испытан новый метод измерения длительности СКИ, основанный на измерении спектрального уширения излучения вследствие фазовой самомодуляции в одномодовом световоде. Разработанный метод позволяет по характеру поведения кривых спектрального уширения излучения при его малых значениях, определить также знак chirp СКИ.
5. Моделировано устройство для генерации и исследования темных солитонов, состоящее из дисперсионной линии задержки, фильтрующего узла и одномодового волоконного световода. Показано, что амплитудно-фазовая фильтрация излучения в дисперсионной линии задержки, сообщающая половине спектра фазовый сдвиг π с точностью 3%, приводит к формированию темного импульса на выходе из дисперсионной линии задержки. Из такого темного импульса, длительностью равной 30% от дисперсионно удлиненного импульса, в световоде генерируется темный временной солитон с длительностью равной 10% от темного импульса. Преимуществами такой системы являются простота схемы и легкость реализации.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. А.А.Кутузян, А.А.Киракосян, Л.Х.Мурадян “Генерация темных солитонов в спектральном компрессоре” Изв. НАН Армении, Физика, т. 37, № 6, с. 350-353 (2002).
2. А.А.Kutuzyan, L.Kh.Mouradian, A.A.Kirakosyan”Spectral Compressor as a Generator of Dark Solitons” Int. Conf. LASERS’2001, Tucson, Arizona, WC4. / A.Kutuzyan, T.G.Mansuryan, A.A.Kirakosyan, L.Kh.Mouradian “ Self-forming of temporal dark soliton in spectral compressor “Proc. SPIE 5135,p. 156-160 (2003).
3. А.С.Мгерян, О.А.Мовсисян, А.А.Киракосян, Л.Х.Мурадян “Определение длительности сверхкоротких лазерных импульсов с помощью спектральных измерений” Изв. НАН РА, Физика, т.40, No.1, 41-42 (2005).
4. А.А. Kutuzyan, А.А. Kirakosyan, G.L.Yesayan, L.Kh. Mouradian “Temporal dark solitons in Spectral Compressor”, Proc. Conf. “Laser Physics - 2006”, Ashtarak, Armenia, p.201-204, (2007).
5. Т.Khachikyan, А.Mheryan, А.Kirakosyan, Т.Mansuryan, G.Yesayan, L.Mouradian, R. Zadoyan, А.V. Apkarian “Diagnosis of Short Pulses via Self-Phase Modulation” OSA, YOS, Book of Abstracts, p. 40-41, 2-7 May, 2007, Ashtarak & Yerevan, Armenia.
6. А.С.Мгерян, А.А. Киракосян, Т.Г. Мансурян, Г.Л. Есяян, Л.Х. Мурадян, “Диагностика коротких импульсов с помощью спектров фазовой самомодуляции”, Proc. Conf. “Laser Physics-2006”, Ashtarak, Armenia, p. 209-212 (2007).
7. M.Kalashyan, Т.Mansuryan, А.Zeytunyan, K.Palanjyan, А.Kirakosyan, G.Yesayan, L.Mouradian “Alternative dispersive delay line for synthesis of femtosecond pulses”, Proc. Conf. “Laser Physics-2006”, Ashtarak, Armenia, p. 189-192 (2007).
8. Ա.Կիրակոսյան, Ա. Կոտուզյան, Գ. Եսայան, Լ. Մուրադյան «Ժամանակային մոթ սոլիտոնների գեներացման սարք» ՀՀ գյուտի արտոնագիր AM No. 2114 A2, H01S 3/00, H04B 10/152, 2008թ.
9. Ա.Կիրակոսյան, Տ.Մանսուրյան, Տ.Խաչիկյան, Ա.Սիերյան, Գ.Եսայան, Լ.Մուրադյան “Լազերային գերկարճ իմպուլսների տևողության որոշման եղանակ” ՀՀ գյուտի արտոնագիր AM No. 2079 A2, G01J 11/00, G01B 9/02, (2008).
10. Ա.Կիրակոսյան, Զ.Փալանջյան, Մ.Քալաշյան, Ա.Չեյթունյան, Գ.Եսայան, Լ.Մուրադյան «Դիսպերսային հապաղման դիժ» ՀՀ գյուտի արտոնագիր AM No. 2178 A2, G02F 1/01, G02B 5/00, 2008թ.
11. А.Киракосян, К.Паланджян, М.Калашян, А.Зейтунян, Г.Есяян, Л.Мурадян, “Дисперсионная линия задержки”, Евразийский патент, No. 015405, H03H 9/40, H01S 3/10, (2011).
12. Ар.А.Киракосян, “Решеточно-линзовая дисперсионная линия задержки” Изв. НАН Армении, Физика, т. 47, № 1, с. 42-46 (2012).

ԱՄՓՈՓԱԳԻՐ

Լազերային գերկարճ իմպուլսները ներկայումս լայնորեն կիրառվում են արդի գիտության և տեխնիկայի բազմաթիվ բնագավառներում և համդիսանում ժամանակակից հետազոտությունների կարևորագույն գիտատեխնիկական գործիք: Պիկո-ֆեմտովայրկյանային տևողությամբ իմպուլսների գեներացումը, զարգացման նոր հնարավորություններ ընձեռնեց ժամանակակից գիտության և տեխնիկայի այնպիսի ուղղությունների համար, ինչպիսիք են ոչ գծային օպտիկան, լազերային սպեկտրոսկոպիան, գերարագ ֆոտոնիկան, գերհզոր դաշտերի ֆիզիկան և այլն: Լազերային գերկարճ իմպուլսները ընձեռնեցին բացառիկ հնարավորություններ բազմաբնույթ գերարագ պրոցեսների ամփոփական դիտարկման և ժամանակային բարձր լուծողունակությամբ չափումների իրականացման համար: Ֆեմտովայրկյանային լազերային իմպուլսները առաջին անգամ հնարավորություն տվեցին «իրական ժամանակում» դիտել տարրական մոլեկուլյար արագընթաց պրոցեսների դինամիկան և ստանալ մոլեկուլների և ատոմների խմբերի ակնթարթային պատկերները՝ քիմիական ռեակցիաների տարբեր պահերին, խթանելով նոր գիտական ուղղությունների առաջացումը, ինչպիսիք են ֆեմտոկենսաբանությունը և ֆեմտոքիմիան: Օպտիկայում անցումը ֆեմտովայրկյանային ժամանակային սանդղակին, արդարացիորեն համեմատում են մանրադիտակի հայտնագործմանը հաջորդած հեղափոխական զարգացումների հետ: Ֆեմտովայրկյանային լազերային իմպուլսների կիզակետումը հնարավորություն է տալիս իրականացնել բացառիկ նուրբ վիրահատություններ ակնաբուժության և նյարդավիրաբուժության մեջ: Անհերքելի է այնուհետև կայանային տևողության իմպուլսների նշանակությունը լուսատարային օպտիկական կապի համակարգերում տեղեկատվության հաղորդման խնդիրների համար: Դրանով է պայմանավորված հետաքրքրության աճը օպտիկական սոլիտոնների գեներացման և տարածման խնդիրների նկատմամբ, և հատկապես մութ սոլիտոնների նկատմամբ՝ որպես էներգետիկ կորուստների նկատմամբ առավել կայուն ազդանշանների: Պիկո-ֆեմտովայրկյանային ժամանակային տիրույթի յուրացման հիմնախնդիրը առաջադրեց բազմաթիվ նոր ֆիզիկական և տեխնիկական խնդիրներ կապված գերարագ ազդանշանի կառավարման, հաղորդման և գրանցման հետ:

Ատենախոսական աշխատանքի նպատակը և խնդիրներն են հանդիսանում գերկարճ իմպուլսների գրանցման և կառավարման նոր, պարզ և մատչելի մեթոդների և սարքերի մշակումը գերարագ օպտիկայի և ֆոտոնիկայի խնդիրների համար: Մասնավորապես, կարևորվում են նոր, փոքր չափերով դիսպերսային հասպտման գծերի մշակմանն ուղղված հետազոտությունները, դիսպերսիայի /հետևաբար նաև իմպուլսի չիրայի/ մեծության և նշանի կառավարման հնարավորությամբ, պիկո-ֆեմտովայրկյանային տիրույթի իմպուլսների համար: Հրատապ են նաև հետազոտությունները՝ ուղղված ժամանակային մութ սոլիտոնների գեներացման նոր, արդյունավետ համակարգերի մշակմանը, պայմանավորված՝ էներգետիկ կորուստների նկատմամբ նրանց ունեցած կայունությամբ, և դրանով իսկ կապի և հեռահաղորդակցման բնագավառում կիրառության հեռանկարով: Կարևոր են նաև գերկարճ իմպուլսների տևողության գրանցման նոր, պարզ ավտոկորեյացիոն մեթոդին այլընտրանք հանդիսացող մեթոդների մշակմանն ուղղված հետազոտությունները:

Նշված արդիական թեմայով և կարևոր հետազոտական խնդիրներով ատենախոսական աշխատանքի հիմնական արդյունքները բերված են ստորև.

1. Փորձնականորեն հետազոտվել է դիսպերսային հասպաղման գծի նոր սխեմա՝ բաղկացած դիսպերսային տարրից, երկու ոսպնյակից և հետ վերադարձնող հայելուց: Որպես դիսպերսային տարր ֆեմտովայրկյանային իմպուլսների համար կիրառվում է պրիզման, պիկովայրկյանային իմպուլսների համար՝ դիֆրակցիոն ցանց: Յույց է տրվել որ դիսպերսային տարրից հետո տեղադրված ոսպնյակի հետին կիզակետային հարթությունում, անմիջապես հայելու առջև, տեղադրելով ցրող կամ հավաքող ոսպնյակ, հնարավոր է իմպուլսին հաղորդել համապատասխանաբար դրական կամ բացասական չիրպ: Իմպուլսի երկարացման չափը կախված է կիզակետային հարթության մեջ տեղադրված ոսպնյակի օպտիկական ուժից, ինչքան մեծ է օպտիկական ուժը այնքան մեծ է իմպուլսի երկարացման չափը:
2. Մշակվել է գործարկվել են պիկովայրկյանային և ֆեմտովայրկյանային տևողության լազերային իմպուլսների գեներացման և կառավարման խնդիրներում լայնորեն կիրառվող դիսպերսային հասպաղման գծերին այլընտրանքային համակարգեր: Առաջարկված համակարգերը կարելի է կիրառել պիկո-ֆեմտովայրկյանային ժամանակային տիրույթում, մասնավորապես իմպուլսների ժամանակային և սպեկտրալ սեղմման սխեմաներում, տրված տևողության (տրված չիրպով) իմպուլսների ձևավորման համար: Այսպիսի սարքերի առավելություններն են նրա փոքր չափերը և դիսպերսիայի ոչ միայն մեծության, այլև նրա նշանը փոխելու հնարավորությունը:
3. Տեսական հաշվարկների և փորձարարական հետազոտությունների արդյունքում ցույց է տրվել, որ խորանարդային ոչ գծայնությամբ միջավայրում իմպուլսի փուլային ինքնամոդուլացման հետևանքով ճառագայթման սպեկտրի լայնացման չափի կախվածությունը ինտենսիվությունից դառնում է գծային, սպեկտրալ լայնացման մեծ արժեքների դեպքում:
4. Մշակված, փորձարկված և գործարկված է ԳԿԻ-ի տևողության չափման նոր մեթոդ, հիմնված միամող լուսատարում իմպուլսի փուլային ինքնամոդուլացման արդյունքում ճառագայթման սպեկտրալ լայնացման չափման վրա: Մշակված մեթոդը թույլ է տալիս ճառագայթման սպեկտրալ լայնացման կորերի վարքից, փոքր արժեքների տիրույթում, որոշել նաև ԳԿԻ-ի չիրպի նշանը, ինչը կորելյացիոն եղանակով հնարավոր է իրագործել միայն բարձր կարգի կորելյացիոն չափումների միջոցով:
5. Մութ սոլիտոնների գեներացման և նրանց հետազոտման համար, թվային մոդելավորման հիման վրա մշակվել է նոր համակարգ, բաղկացած դիսպերսային հասպաղման գծից, ամպլիտոդափուլային գտիչից և միամող մանրաթելային լուսատարից: Յույց է տրվել, որ դիսպերսային հասպաղման գծում ճառագայթման փուլային գտումը, սպեկտրի կեսին հաղորդելով π փուլային շեղում, 3% ճշտությամբ, բերում է մութ իմպուլսի առաջացմանը դիսպերսային հասպաղման գծի ելքում: Այդպիսի մութ իմպուլսից, դիսպերսիոն երկարած իմպուլսի տևողության 30%-ի չափով, միամող մանրաթելային լուսատարում գեներացվում է ժամանակային մութ սոլիտոն՝ մութ իմպուլսի տևողության 10% չափով: Համակարգի առավելություններն են պարզ սխեման և իրականացման դյուրինությունը:

SUMMARY

Ultrashort laser pulses currently are widely used in various fields of modern science and technology. Advances in the technology of the generation of picosecond and femtosecond laser pulses stimulated the development of such areas of modern science and technology, as the nonlinear optics, laser spectroscopy, ultrafast photonics, physics of high-power fields, etc. Ultrashort laser pulses have provided a unique opportunity to directly observe and measure a variety of fast processes with high temporal resolution. Femtosecond laser pulses for the first time made possible the real-time observation of the dynamics of fast elementary molecular processes and provided snapshots of molecules and groups of atoms in various stages of chemical reactions, stimulating the development of new scientific disciplines, such as femtobiology and femtochemistry. Transition to the femtosecond time scale in optics is comparable with the revolutionary changes in the spatial resolution of optical instruments, which followed to the microscope invention. The high concentration of energy in the focus of femtosecond laser beams makes possible the extremely delicate operations in ophthalmology and neurosurgery. The role of picosecond pulses is very significant for transmission to fiber-optic communication lines. In this regard, the interest to the generation and propagation of optical solitons, and especially, of dark solitons, which are more resistant to energy losses, is increased.

The exploration of pico-femtosecond temporal domain put forward numerous new physical and technical problems related to the characterization, manipulation, and delivery of ultrafast signals. The purpose and objectives of the thesis is the development of new simple and affordable systems for applications in the problems of the signal characterization and control in ultrafast optics and photonics. In particular, the development of new compact dispersive delay line allows to control the sign and magnitude of the dispersion and thus, the chirp of picosecond and femtosecond pulses. Another important research is aimed at developing new effective scheme of the generation of temporal dark solitons, which are more resistant to energy losses, and thus, are of special interest for applications in optical communication. Another important research is aimed at developing of new simple methods of the determination of the duration of ultrashort laser pulses, alternatively to the widely used autocorrelation method.

The importance and practical significance of studies in these directions, together with the unsolved problems, have defined the purpose of the work, with the following new and original results:

- A new scheme of dispersive delay line, consisting of a dispersive element, two lenses, and returning mirror, is experimentally studied. A diffraction grating is used as a dispersive element for picosecond pulses, and a prism – for femtosecond pulses. It is shown that a system located in the back focal plane of the lens, and consisting of a mirror and a diverging or converging lens attached to it, gives positive or negative chirps to the pulse, respectively. The value of the chirp depends on the strength of the lens located in the focal plane: the greater the lens strength, the more the pulse stretching.
- A new system of dispersive delay line, as an alternative to traditional devices consisting of a pair of diffraction gratings or dispersion prisms, is developed and implemented. The proposed scheme is applicable in the pico- and femtosecond time domain, in particular, in the schemes of temporal and spectral compression to shape pulses of given duration (given chirp). The advantages of the new system are its compactness and ability to control the magnitude and sign of the dispersion.
- On the basis of numerical and experimental studies it is shown that the dependence of spectral broadening versus the pulse intensity becomes linear for large values of pulse spectral broadening in a medium with cubic nonlinearity, due to the self-phase modulation in a single-mode fiber.
- A new method for measuring the duration of ultrashort pulses, based on the measurement of the pulse spectral broadening due to self-phase modulation in a single-mode fiber, is developed and tested. The developed method allows also to determine the sign of the chirp of ultrashort pulses by the character of the curves of the pulse spectral broadening at its low values.
- A device for the generation and study of temporal dark solitons, consisting of a dispersive delay line, a filter and a single-mode fiber, is modeled. It is shown that the amplitude-phase filtering of the pulse radiation in the dispersive delay line that gives a π phase shift to the half of the spectrum (with an accuracy of 3%) leads to the formation of dark pulses at the output of the dispersive delay line (with a duration equal to 30% of the duration of the dispersively stretched pulse). Dark solitons are generated in the fiber from these dark pulses (with a duration equal to 10% of the duration of the dark pulse). The advantages of this system are its simplicity and the ease of implementation.