МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ХУДЖАНДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА БОБОДЖОНА ГАФУРОВА»

На правах рукописи

УДК 535.374:621.375.826

Муроди Халимджон Гафурзода

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ УПРАВЛЕНИЯ ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК В НЕПРЕРЫВНО ДЕЙСТВУЮЩИХ ЛАЗЕРАХ С НАСЫЩАЮЩИМСЯ ПОГЛОТИТЕЛЕМ ВНУТРИ РЕЗОНАТОРА

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.07 — Физика конденсированного состояния

Душанбе – 2024

Диссертация выполнена в Государственном образовательном учреждении «Худжандский государственный университет имени академика Бободжона Гафурова»

Научный консультант: **Тошходжаев Хаким Азимович** доктор физико-математических наук, доцент кафедры электроника, ГОУ «Худжандский государственный университет имени академика Бободжона Гафурова».

Официальные оппоненты: **Солихзода Давлат Куват -** доктор физико-математических наук, профессор кафедры теоретической физики, физического факультета, Таджикского национального университета.

Мышкин Вячеслав Фёдорович - доктор физико-математических наук, профессор отделения ядерно-топливного цикла, Томского политехнического университета, Российской Федерации;

Расулов Рустам Явкачович - доктор физико-математических наук, профессор кафедры физики, физико-математического факультета, Ферганского государственного университета, Республики Узбекистан;

Ведущее учреждение: **Институт ионно-плазменных и лазерных технологий им. У.А. Арифова АН Республики Узбекистан.**

Защита диссертации состоится «11» марта 2025 года в 14:00 часов на заседании диссертационного совета 6D.KOA-056 при Таджикском национальном университете по адресу: 734027, Республика Таджикистан, г. Душанбе, п. Буни Хисорак, учебный корпус №16, физический факультет, зал учёного совета.

С диссертацией можно ознакомиться в центральной научной библиотеке Таджикского национального университета, а также на сайте www.tnu.tj , по адресу 734025, г. Душанбе, проспект Рудаки, 17.

Автореферат разослан «____»_____2025 года.

Учёный секретарь диссертационного совета 6D.KOA-056, к. ф. м. н., доцент Исломов З.З.

Введение

Актуальность темы исследования. Насыщающийся поглотитель, внутри резонатора лазера непрерывного действия, обеспечивает генерацию непрерывной последовательности сверхкоротких световых импульсов. Такой режим работы лазера называется синхронизацией продольных мод. Благодаря исследованиям физических процессов активной, пассивной и комбинированной синхронизацией продольных мод непрерывных лазеров был, достигнут логический предел сжатия длительности световых импульсов до 3,8 фс [1], который близок к одному периоду колебаний на длине волны 800 нм. В связи с тем, что изучение быстропротекающих процессов [2] требуют создание более коротких источников электромагнитного поля, например, путем генерации гармоник высокого порядка [3], задача достижения предельных временных и энергетических характеристик импульсов лазера, используемого для дальнейшего сжатия, имеет важное практическое значение.

Теоретические работы авторов [4-6] имеют фундаментальное значение, в понимании физических процессов формирования сверхкоротких световых импульсов в непрерывных лазерах с насыщающимся поглотителем внутри резонатора. Однако в этих работах не предусмотрены или не раскрыты подробно влияние ряда важных параметров, таких как геометрия резонатора, положение поглотителя, сложная временная структура излучения, когда на периоде существуют не один, а несколько импульсов. Все перечисленные параметры имеют непосредственное влияние на процессы насыщения. Экспериментальное исследование влияния разницы, в условиях насыщения усиливающего и поглощающего элемента, во-первых укажет путь к достижению предельно коротких световых импульсов, а во-вторых создает основу для формулировки критериев выбора режима работы, как отдельных элементов, так и самого лазера в целом.

Следует отметить, что основным критерием достижения предельно коротких световых импульсов является обеспечение высокой энергетической стабильности генерации лазера, который достигается, главным образом, процессами насыщения и прежде всего насыщающегося поглотителя.

С другой стороны расширение направлений практического применения сверхкоротких импульсов, прежде всего, в сферах обработки информации и телекоммуникации, требует создание лазеров в новых диапазонах длин волн, где нужны новые поглощающие элементы, в том числе на основе квантовых точек.

Таким образом, исследования связанные с оптимизацией и разработкой критериев выбора насыщающегося поглотителя внутри резонатора непрерывных лазеров и обеспечение его эффективного действия является весьма актуальным.

Степень изученности научной темы. Анализируя достигнутые успехи можно отметить три знаменательные фазы в направлении исследований получения коротких световых импульсов лазерного излучения.

Первая фаза соответствует достижению пикосекундной длительности импульсов на основе лазеров на красителе - 10^{-12} сек.

Вторая фаза это достижение фемтосекундной длительности импульсов на основе титан - сапфировых лазеров - $4{,}5*10^{-15}$ сек.

Третья фаза это достижение аттосекундной длительности световых импульсов генерацией гармоник высокого порядка - $100*10^{-18}$ сек.

Исследование генерации высоких гармоник в лазерно индуцированной плазме, использованием мощного импульса лазера на 800 нм и слабого излучения на 400 нм, в газовой среде Ag, Ag_2S, проведено в работе [7]. Установлена более высокая эффективность генерации высоких гармоник при создании плазмы в газовой среде. Теоретически предельная длительность световых импульсов с помощью генерации высоких гармоник ограничивается длительностью используемого лазера накачки, который должен быть порядка нескольких фс [8] для достижения ас диапазона. В связи с этим совершенно новые исследования авторов [9-11] были направлены на достижение эффективного сокращения длительности импульсов лазерных источников с синхронизованными модами и прежде всего применением насыщающегося поглотителя внутри резонатора. Следует обратить особое внимание на то, что поиск необходимого поглотителя, для заданного лазера, ведется достаточно примитивно без использования установленных закономерностей повышения эффективности их действия на достигаемые конечные результаты. В этом плане экспериментальные исследования, [12] получившие теоретическое обоснование [13] имеют наиболее весомое значение для практического решения вопроса выбора эффективного воздействия насыщающегося поглотителя для непрерывных лазеров.

Исследованиями влияния насыщающегося поглотителя на режим синхронизации мод лазера были установлены:

- наличие области существования синхронизации продольных мод в зависимости от величины ненасыщенного усиления и поглощения;
- возможность генерации световых импульсов длительностью меньше чем время восстановления насыщающегося поглотителя в непрерывных лазерах;
- ограничения минимальной длительности световых импульсов от ширины полосы генерации лазера;
- сжатие длительности световых импульсов в средах с нелинейным усилением и поглощением;
- генерация сверхкоротких световых импульсов в непрерывных лазерах с кольцевым резонатором и насыщающимся поглотителем внутри резонатора.
- переход генерации лазера с пассивной синхронизацией мод на сложную временную структуру при высоких мощностях;
- зависимость временной структуры излучения лазера с пассивной синхронизацией мод от местоположения насыщающегося поглотителя.

Однако эти результаты не объяснили следующие стороны процессов

синхронизации продольных мод:

– механизм появления и высокой стабильности сложной временной структуры излучения лазера при пассивной синхронизации мод;

– роль энергетических параметров излучения лазера и его составных частей в процессе формирования сложной временной структуры;

– роль энергетических параметров на процесс максимального сжатия длительности световых импульсов за счет нелинейного поглотителя;

– выбор насыщающегося поглотителя режима насыщения для случая его медленного восстановления по сравнению с длительностью светового импульса;

– связь между временными и спектральными характеристиками излучения лазера на границе перехода в сложные временные структуры излучения;

– механизм высокой стабильности режима генерации лазера с комбинированной синхронизацией мод в области отрицательных расстроек длины резонаторов;

– механизм сжатия информации с помощью лазеров работающих в режиме синхронизации продольных мод;

– возможность применения периодической последовательности импульсов сложной временной структуры для практических задач;

– критерии выбора и эффективного действия насыщающегося поглотителя внутри резонатора непрерывного лазера работающего в режиме активной синхронизации мод.

Связь исследования с программами (проектами) и научной тематикой. Работа, выполнена в рамках реализации перспективных планов научно-исследовательских работ кафедры общей физики и твердого тела ГОУ «Худжандский университет имени академика Бободжона Гафурова» 2021–2025 гг. по теме «Изучение физико-химических свойств композитных материалов и тяжелых элементов в почве и аэрозоля», по реализации объявленного 2020-2040 годов «Двадцатилетием изучения и развития естественных, точных и математических наук в сфере науки и образования» утверждённого Постановлением Правительства Республики Таджикистан от 30 июля 2020 года, №427.

Общая характеристика исследования

Цель исследования. Основная цель диссертационной работы состоит в исследование физических процессов, достижения высокой эффективности режима генерации сверхкоротких световых импульсов использованием насыщающегося поглотителя, внутри резонатора непрерывных лазеров, при пассивной и активной синхронизации продольных мод.

Задачи исследования. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Исследовать область существования режима синхронизации продольных мод непрерывного аргонового лазера с насыщающимся

поглотителем внутри резонатора за счет выбора величин линейных потерь, поглощения и усиления.

2. Определить закономерности влияния местоположения и геометрических сечений пучков лазерного излучения в усиливающей и поглощающей среде на стабильность, временные и энергетические характеристики излучения аргонового лазера.

3. Установить критерий выбора насыщающегося поглотителя по оптическому сечению перехода на длине волны генерации лазера на красителе Rh6G.

4. Определить корреляцию между временными и спектральными характеристиками для достижения высокой стабильности режима пассивной синхронизации продольных мод.

5. Установить природу сложной временной структуры излучения лазера в режиме пассивной синхронизации продольных мод и характер их влияния при практическом применении.

Объекты исследования. Основными объектами являются процессы формирования световых импульсов в лазерах непрерывного действия при пассивной и комбинированной синхронизации продольных мод, когда внутри резонатора размещается насыщающийся поглотитель.

Предмет исследования. В работе исследуются временные и энергетические характеристики режима синхронизации продольных мод непрерывных лазеров на примере ионного аргонового и лазера на красителе родамина 6Ж с насыщающимся поглотителем внутри резонатора.

Теоретические основы исследования. В основе научных разработок применены теоретические модели пассивной и активной синхронизации мод в непрерывных лазерах, процессов взаимодействия световых импульсов с насыщающимся усиливающей и поглощающей средой, в условиях медленного восстановления усиления и поглощения, интерференция гармонических колебаний и формирование волнового пакета на основе стоячих волн в резонаторе лазера.

Научная новизна исследования. Научная новизна проведенных исследований и полученных результатов состоит в следующем:

1. Экспериментально получена зависимость временных и энергетических характеристик и стабильности излучения лазера, работающего в режиме стационарной пассивной синхронизации мод от разницы в условиях насыщения усиливающих и поглощающих сред, определяемой как параметр S равной отношению энергии насыщения усилителя к энергии насыщения поглотителя. Параметр S, это безразмерная величина, определяющий, в какой степени быстрее происходит насыщение поглотителя по сравнению с усилителем в пределах формируемых импульсов.

2. Обнаружено существование порога режима пассивной синхронизации мод по параметру S и условие $S > S_{min}$ сформулировано как критерий выбора насыщающегося поглотителя по спектральным характеристикам для заданной усиливающей среды лазера ($\sigma_п / \sigma_у > 1$) при

комбинированной синхронизации мод.

3. Экспериментально показана возможность существования коротких световых импульсов излучения лазера на красителе в режиме комбинированной синхронизации мод в области отрицательных расстроек длин резонаторов лазера на красителе и лазера накачки.

4. Установлена однозначная зависимость спектральных и временных характеристик сложной временной структуры излучения лазера в режиме синхронизации нескольких групп продольных мод.

5. Проведен численный расчет влияния импульсов сложной структуры при абляции, где имеет место дополнительное смещение нижней границы за счет действия второго импульса.

Предложен новый способ формирования многобитной информации за счет режима синхронизации продольных мод непрерывных лазеров.

Положения, выносимые на защиту.

1. Для пассивной синхронизации мод, в случае когда длительность импульса - τр много меньше времен релаксации поглощения - Тп и усиления – Ту, важнейшим параметром является предельная плотность энергии излучения в поглотителе - $\varepsilon_{\text{п}}^{\text{пр}}$ и усилителе - $\varepsilon_{\text{у}}^{\text{пр}}$. Установлено, что величины $\varepsilon_{\text{п}}^{\text{пр}}$ и $\varepsilon_{\text{у}}^{\text{пр}}$ находятся в функциональной зависимости от разницы в условиях насыщения усиления и поглощения, выражаемой параметром S, от величин ненасыщенного поглощения – K_O, ненасыщенного усиления - Go , времен релаксации усиливающих и поглощающих сред.

2. Установлено существование порога режима пассивной синхронизации мод по параметру S, который должен быть больше S min, и критерий выбора насыщающегося поглотителя по спектральным характеристикам (σп / σу> 1) или оптимизацией геометрии резонатора $\alpha \frac{A_{\text{у}}}{A_{\text{п}}} \geq 1$ для лазеров, работающих в режиме пассивной и комбинированной синхронизации мод.

Для случая Ar+ лазера с пассивной синхронизацией мод с помощью газоразрядного поглотителя показано существование оптимального значения параметра $S > S_{opt}$.

3. При комбинированной синхронизации мод непрерывного лазера на красителе использование насыщающегося поглотителя, для которого выполнено условие $\frac{\sigma_{\text{п}}}{\sigma_{\text{у}}} > 1$, приводит к дополнительному укорочению длительности генерируемых световых импульсов, повышению стабильности режима генерации лазера и возможности генерации световых импульсов минимальной длительности в области отрицательных расстроек длин резонаторов лазера на красителе и лазера накачки.

4. При условии генерации насыщающегося поглотителя повышается стабильность и энергетические характеристики лазера с синхронизацией продольных мод, которую можно использовать для уплотнения информации в виде светового импульса, длительность которого обратно пропорционально количеству синхронизованных продольных мод лазера.

5. Сложная временная структура световых импульсов сателлит

формируемых в области высоких энергетических характеристик излучения лазера с синхронизацией мод позволяет повысить эффективность воздействия при абляции твердых тел.

Теоретическая значимость исследования заключается в совершенствовании и математических моделей, непрерывных лазеров в режиме генерации сверхкоротких световых импульсов с целью повышения эффективности процессов насыщения в достижении предельных энергетических и временных параметров.

1. Показан однозначная корреляция временных, спектральных и стабильности режима генерации лазера с синхронизацией мод в случае формирования импульсов сателлит.
2. Впервые обоснована возможность одновременной синхронизации нескольких групп продольных мод.
3. Предложен способ формирования световых импульсов, как носителя информации, за счет насыщающихся поглотителей внутри резонатора лазера с синхронизацией мод, обладающий уникальным свойством, занимать меньше интервал времени при большем объеме размещенной информации в каждом световом импульсе.
4. Численными расчетами установлена возможность повышения энергетической эффективности воздействия светового импульса сложной временной структуры, которые, как правило, формируются в области высоких энергетических показателей лазеров с синхронизованными модами, для процесса абляции.

Практическая значимость исследования состоит из полученных автором новых научных результатов содержащие конструктивные предложения по разработке и созданию новых источников сверхкоротких электромагнитных импульсов, повышения эффективности процесса лазерной абляции, а также способов уплотнения информации.

1. Установлено, что для непрерывных лазеров с насыщающимся поглотителем, кроме условия порога генерации, существуют условия нижней и верхней границы области существования синхронизации продольных мод.
2. Впервые установлено наличие гистерезиса вблизи порога генерации лазера с насыщающимся поглотителем внутри резонатора, а также вблизи верхней границы области существования режима синхронизации продольных мод, указывающего на высокую стабильность режима генерации лазера.
3. В результате экспериментальных исследований показана возможность улучшения временных и энергетических характеристик и стабильности излучения непрерывного Ar+ лазера с пассивной синхронизацией мод за счет разницы в условиях насыщения усиления и поглощения, достигаемой выбором геометрии резонатора и местоположением активных элементов.
4. Разработана конструкция газоразрядного поглотителя для пассивной синхронизации мод Ar+ лазера, исходя из экспериментальных исследований радиальной зависимости величины ненасыщенного

поглощения в трубках с различными диаметрами разрядного канала.

5. Экспериментально подтверждено существование критерия выбора оптимального насыщающегося поглотителя по спектральным характеристикам для синхронизации мод конкретно выбранного лазера. Выбранный таким образом краситель малахитовый зеленый, для комбинированной синхронизации мод лазера на красителе Rh6G, позволил вдвое уменьшить длительность генерируемых световых импульсов (до 0,7±0,2 пс).

6. Установлено, что не критичность точного согласования длин резонаторов лазера на красителе и лазера накачки в режиме комбинированной синхронизации мод, приводит к повышению стабильности характеристик излучения лазера на красителе при таком режиме работы.

7. Численные расчеты, по теоретической модели лазера на красителе при активной синхронизации мод с добавлением насыщающегося поглотителя, с учетом разницы в условиях насыщения, качественно полностью подтвердили экспериментальные результаты по комбинированной синхронизации мод родамина 6Ж с помощью красителя малахитового зеленного.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности. Диссертационная работа выполнена по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния. Она относится к смежной части этой специальности – Квантовая электроника и полностью соответствует формуле специальности и пункту «Разработка и исследования характеристик приборов и устройств (мазеров, лазеров, преобразователей излучения и т. п.) позволяющих усиливать, генерировать и преобразовать излучение, управлять его характеристиками».

Степень достоверности результатов проведенных исследований. Достоверность результатов обеспечивается экспериментальными данными проведенных измерений, которые получили подтверждение при численных расчетах на основе существующих и совместно разрабатываемых теоретических моделей, а также результатами исследований других ученых.

Моделирование процесса абляции и результаты проведенных численных расчетов адекватно отражают тепловые процессы при воздействии светового импульса сложной временной структуры на выбранный материал. Следует особо отметить, что, несмотря на меньшую амплитуду, эффективность смещения границы испарения вторым дополнительным импульсом является значительным.

Личный вклад соискателя ученой степени. Задачи исследования были сформулированы с участием научного консультанта, который оказывал консультативное содействие. Все результаты диссертационной работы, отраженные в разделе «Научная новизна исследования», получены лично автором.

Апробация работы. Полученные автором в диссертации результаты были представлены и обсуждены на: Международной конференции «Актуальные проблемы современной физики» посвященной 80 – летию

памяти Заслуженного деятеля науки и техники Таджикистана, доктора физико-математических наук, профессора Нарзиева Бозора Нарзиевича, 18 апреля 2018 года, г. Душанбе; OSA Laser Congress and Exibition. Austria , Vienna. Poster presentation ID: JW2A.39. October 2, 2019 ,Vienna Austria; Республиканская научно-практическая конференция посвященная «Двадцатилетию изучения и развития естественных , точных и математических наук в сфере науки и образования» на тему « Современные проблемы физики конденсированного состояния и ядерной физика» г. Душанбе, 19 февраля 2020; Academia Letters, Article 2321. https://doi.org/10.20935/AL2321; Всероссийская конференция с международным участием «Информационно - телекоммуникационные технологии и математическое моделирование высокотехнологических систем» Москва, РУДН, 18–22 апреля 2022; 51-я международная Тулиновская конференция по физике взаимодействия заряженных частиц с кристаллами (Москва 24 мая – 26 мая 2022); Конференсияи Ҷумҳуриявии илмӣ – амалӣ бахшида ба солҳои 2020-2040 “Бистсолаи омӯзиш ва рушди фанҳои табиатшиносӣ, дақиқ ва риёзӣ дар соҳаи илму маориф” ва солҳои 2022-2026 “ Солҳои рушди саноат” « Рисолати илми физика дар инкишофи техника ва технологияи муосир» 16-17-уми марти соли 2023; ДДХ ба номи академик Б.Ғафуров, ш. Хуҷанд; Республиканская научно-практическая конференция «Развитие и достижения физической науки в годы независимости», посвященной 32-летию Государственной независимости Республики Таджикистан (25-26 августа 2023 г.). Душанбе; Конференсияи ҷумҳуриявии илмӣ-амалии «Саҳми олимони фанҳои дақиқ дар рушди саноатикунонии кишвар» бахшида ба “Бистсолаи омӯзиш ва рушди фанҳои табиатшиносӣ, дақиқ ва риёзӣ дар соҳаи илму маориф ” ва 85-солагии аъзо-корреспонденти Академияи муҳандисони Ҷумҳурии Тоҷикистон ва Руссия, профессор Рабеҷонов Набиҷон ва профессор Латипов Ҷалол Латипович. Хуҷанд, (18-уми октябри соли 2023) ; Республиканская научно-практическая конференция «Современные проблемы физики конденсированного состояния», посвященной 75-летию со дня основания Таджикского национального университета, Международному году защиты ледников и 80-летию со дня рождения доктора физико – математических наук, профессора Туйчиева Шарофидина (24-25 октября 2023 г.) г. Душанбе; **Fergana state university conference**, *[S. l.]*, p. 07, 2023. Disponível em: https://conf.fdu.uz/index.php/conf/article/view/2308 . Acesso em: 2 dec. 2023; Республиканской научно-практической конференции с участием зарубежных учёных «Проблемы и перспективы оптики и лазерной физики» посвященная 80-летию образования Академии наук Республики Узбекистан, 26 октября 2023 года, г. Ташкент; Республиканской научно-практической конференции «Развитие и достижения физической науки в годы независимости», посвященной 32-летию Государственной независимости Республики Таджикистан (25-26 августа 2023 г.). Душанбе; Научных семинарах кафедры автоматизированные системы управления

Таджикского государственного университета права, бизнеса и политики, кафедры общей физики и твердого тела ГОУ «Худжандского государственного университета имени академика Бободжона Гафурова» в лекционных и практических занятиях по оптике, нанотехнологии, а также при выполнении научных работ студентами и магистрантами.

Публикации по теме диссертации. Основные результаты диссертации опубликованы в 37 научных работах. Работы [2-А] - [20-А] опубликованы в журналах из перечня рецензируемых научных журналов и изданий, рекомендованных ВАК при Президенте Республики Таджикистан. В тезисах докладов и материалах международных и республиканских конференций опубликовано 17 работ

Структура и объем диссертации. Работа состоит из введения, общей характеристики исследований, шести глав, обсуждения полученных результатов, выводов и списка литературы (318 наименования работ). В диссертации применена сквозная нумерация формул и рисунков. Они имеют двойную нумерацию, в которой первая цифра совпадает с номером главы, а вторая указывает на порядковый номер рисунка или формулы в данной главе. Общий объем диссертации составляет 270 страниц компьютерного набора, содержащий 75 рисунка и 4 таблиц.

Ключевые слова: лазер, усиление, поглощение, резонатор, продольные моды, синхронизация, световой импульс, длительность, период, активная, пассивная, насыщение, сжатие, мощность, энергия.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении дается краткий исторический обзор результатов научного исследования по проблеме исследования и обосновывается актуальность темы.

Первая глава диссертационной работы состоит из пяти параграфов.

Первый параграф посвящен обзору теоретических и экспериментальных работ генерации сверхкоротких световых импульсов при стационарном режиме синхронизации мод в лазерах непрерывного действия. Уникальным случаем является, когда длительность генерируемых световых импульсов много меньше времени релаксации разности населенностей как усиливающей, так и поглощающей среды.

Во втором параграфе анализируются временной и спектральный подход к теории синхронизации продольных мод непрерывного лазера.

Синхронизацию продольных мод и генерацию излучения лазера в виде коротких световых импульсов можно рассматривать как явление интерференции, которое может иметь место, если частоты этих мод эквидистантны, а разность фаз не меняется во времени.

Для лазера с насыщающимся поглотителем внутри резонатора, одновременно, для каждой продольной моды действуют эффекты «затягивания» и «отталкивания» частоты относительно центра линии усиления и поглощения соответственно. В связи с тем, что процесс

генерации сверхкоротких световых импульсов является результатом синхронизацией большого числа продольных мод лазера непрерывного действия и период импульсов определяется длинной резонатора, то существует механизм обеспечения «захвата» частоты определяемого именно этой величиной. К сожалению, при спектральном подходе не рассматривалось влияние других параметров усиливающей и поглощающей сред за исключением их местоположения.

Временной подход к явлению синхронизации мод основывается на возможности формирования периодической последовательности коротких световых импульсов от начальных случайных флуктуаций интенсивности излучения лазера. При использовании временного подхода процесс пассивной синхронизации мод может быть моделирован схемой, в которой происходит сильное ослабление излучения малой интенсивности и избирательное усиление коротких выбросов высокой интенсивности.

Третий параграф посвящен определению условия генерации световых импульсов, длительность которых много меньше времени релаксации как усиливающей, так и поглощающей среды. В таком случае, для формирования непрерывной последовательности коротких световых импульсов в лазерах с пассивной синхронизацией мод, определены три порогового условия.

Первое условие требует наличия определенной разницы в условиях насыщения усиливающих и поглощающих сред определяется параметром S в соответствии с формулой

$$S \equiv \frac{E_{\text{у}}}{E_{\text{п}}} = \alpha \frac{\sigma_{\text{п}}}{\sigma_{\text{у}}} \frac{A_{\text{у}}}{A_{\text{п}}} \geq S_{min} = \frac{1+q_0}{q_0} \quad , \qquad (1)$$

где $E_{\text{у}}$ и $E_{\text{п}}$ – энергии насыщения усилителя и поглотителя соответственно, $\sigma_{\text{п}}$ и $\sigma_{\text{у}}$ – оптические сечения переходов поглотителя и усилителя, $A_{\text{у}}$ и $A_{\text{п}}$ – геометрическое сечение пучков в усиливающей и поглощающей средах, q_0 – значение ненасыщенного (для слабого поля) поглощения, нормированное к величине линейных потерь резонатора. С учетом того, что $S_{min} > 1$ условие (4) означает насыщение поглотителя при меньших значениях энергии светового импульса, чем насыщение усилителя.

Второе условие выражает отрицательное усиление в интервале времени между световыми импульсами – T,

$$1 + q_0 - p^{\,i} \quad \geq 0 \quad , \qquad (2)$$

где $p^{\,i}$ - насыщенное значение усиления.

Третье условие требует, чтобы полная энергия светового импульса – E_0 ($V_0 = E_0 / E_{\text{п}}$) была достаточна для создания отрицательного усиления в системе

$$\Delta p(V_0) \leq 0 \quad . \qquad (3)$$

Иначе, если $\Delta p(V_0) > 0$, то не происходит сжатия светового импульса и имеет место уширение в результате усиления заднего фронта.

В четвертом параграфе показано влияние условия насыщения на процесс генерации сверхкоротких световых импульсов в лазерах непрерывного действия. Установлено, что важным звеном является

существование разницы в условиях насыщения усиливающей и поглощающей сред, определяемой параметром S согласно формуле (1). Суммарное усиление при прохождении через усиливающую и поглощающую среду определяется формулой

$$\Delta p\ t\ = p\ t\ - (1 + q\ t\ ) .$$

Для $S > S_{min}$ характерно появление существенной неоднородности суммарного усиления $\Delta p(t)$ по всей огибающей светового импульса приводящий к усилению светового импульса в области максимума и ослаблению в области боковых крыльев. Конечный результат таков, что происходит усиление светового импульса по амплитуде и сжатие его по длительности.

Пятый параграф посвящен исследованию влияния параметров лазера на границы существования, режима синхронизации мод, непрерывного лазера. Условиями (1)-(3) определяется область существования режима стабильной генерации лазера с насыщающимся поглотителем внутри резонатора. Область существования может быть выбрана исходя из заданных значений ненасыщенного поглощения и линейных потерь путем выбора значения ненасыщенного усиления согласно условиям (1)-(3).

Вторая глава посвящена экспериментальному исследованию режима пассивной синхронизации мод с помощью газоразрядного поглотителя внутри резонатора Ar^+ лазера. Выбор Ar^+ лазера в качестве объекта для изучения стационарной пассивной синхронизации мод был сделан, исходя из двух соображений:

1. Используемые для синхронного возбуждения лазеров на красителе Ar^+ лазеры с синхронизацией мод должны обладать хорошими временными и энергетическими характеристиками.

2. Разница в условиях насыщения усилителя и поглотителя определяется параметром S - (1). Конструкция Ar^+ лазера позволяет достаточно легко и в больших пределах изменять S за счет геометрии резонатора и местоположения поглотителя и усилителя.

Поэтому, режим синхронизации мод, зависит как от геометрии резонатора (α, $A_y / A_п$), так и от выбора активных сред (T_y, $T_п$, $\sigma_п/\sigma_y$), причем, исходя из (1) последнее соотношение желательно иметь ≥ 1.

Сечение переходов в жидких и твердых телах невелики: например для раствора Rh6G $\sigma \sim 10^{-16}$ см^2; для неодимового стекла - 10^{-19} см^2 . В газообразных средах сечение переходов несколько больше. Расчет сечений переходов иона аргона для линий 488 нм и 514 нм проводился по формуле:

$$\sigma = \frac{\hbar\omega}{2W_S T_y},$$

где T_y - излучательное время жизни и W_s - параметр насыщения, расчетные значения $\sigma_{488} = 10^{-12}$ см^2 и $\sigma_{514} = 3x\ 10^{-13}$ см^2.

Поэтому, если использование красителей для синхронизации твердотельных лазеров с точки зрения выполнения (1) оправдано, то в случае газовых лазеров использование этих красителей приводит к неблагоприятной ситуации ($\sigma_п/\sigma_y = 6\ x\ 10^{-4}$ для линии генерации Ar^+ 514

нм и $\sigma_п/\sigma_у$ = 6 x10^{-5} для 488 нм и потому требуется сильная фокусировка излучения в тонкий поглотитель).

При пассивной синхронизации мод наиболее распространенным является генерация с η эквидистантными на периоде резонатора импульсами, интервал между которыми $T = \frac{T_0}{\eta} = \frac{2L}{c*\eta}$. Этот режим стабилен, если поглотитель находится в «кратном» положении, а усилитель – в «равно-отстоящем» и $T \sim T_у > T_п$:

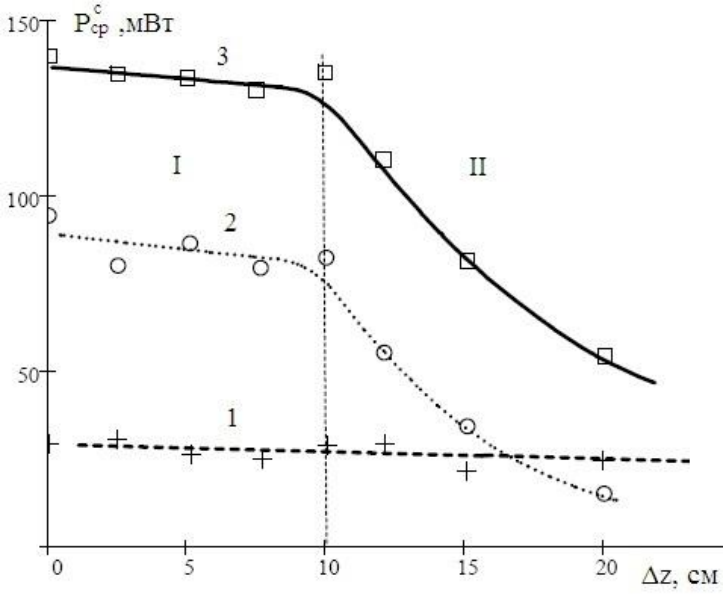
$$Z_п = m * \frac{1}{\eta} \quad \text{и} \quad Z_у = 2j + 1 * \frac{L}{2\eta}, \qquad (4)$$

где Z_n и Z_y - расстояние от середины поглотителя и усилителя от одного из зеркал резонатора m = 1,2,…,(η-1); j=0,1,…, (η-1). Нетрудно понять, что в этом случае импульсы, во-первых, встречаются в середине поглотителя с интервалом $t_n = T$, середину усилителя проходят поочередно с t_y=T/2, и, во-вторых, приобретают (теряют) одинаковое количество энергии при прохождении усилителя (поглотителя) в прямом и обратном направлениях.

При кратном положении поглотителя (L/Z_n = η - целое число) режим синхронизации мод отличается повышенной стабильностью временных характеристик и большей мощностью в излучении. Подобный случай был обособлен как синхронизация на встречных или сталкивающихся импульсах.

Насыщение поглощения в отличие от усиления одновременно двумя световыми импульсами равнозначно увеличению сечения поглощения поглотителя вдвое. Такое косвенное изменение сечения поглощения в формуле (1) - разницы в условиях насыщения активных сред, учитывается параметром α, принимающим максимальное значение для "кратного" положения поглотителя.

Экспериментально влияние изменения α на режим генерации лазера может быть исследовано изменением местоположения поглотителя. Реально это достигается либо изменением положения самого поглотителя, либо передвижением зеркала М2, что практически гораздо проще. Исследование проводилось в случае генерации двух световых импульсов на периоде T_0 , встречающихся в поглотителе.



На рисунке 1 приведена зависимость средней мощности излучения лазера в режиме пассивной синхронизации мод от величины расстройки $\Delta Z=(Z_п - Z_0)$ между точкой встречи световых импульсов в пространстве внутри резонатора - Z_0 и центром поглощающего элемента - $Z_п$.

Рисунок 1 - Экспериментальная зависимость средней мощности излучения Ar^+ лазера в режиме

пассивной синхронизации мод от величины ухода от "кратного" положения поглотителя $\Delta Z = (Z_п – Z_0)$, Z_0 - расстояние от центра поглотителя до зеркала M1, Z_0 - расстояние от места встречи световых импульсов до M1, K_0 = 0.12 - 1, 0.20-2, 0.24 - 3

Расположение поглотителя точно в "кратном" положении совмещает эти две точки и $\Delta Z = 0$. Предельное отклонение от кратного положения определялось приближением к следующему "кратному" положению поглотителя. Например, при длине резонатора L = 400 см и η =2 для того, чтобы проследить именно зависимость от местоположения поглотителя допустимое значение ΔZ было около 20 см и определялось возможностью перехода к случаю $\eta = 3$. На самом же деле влияние местоположения поглотителя, как видно из рисунка 4, проявляется еще раньше.

Зависимость ширины сигнала межмодовых биений от величины усиления при фиксированном поглощении K_0 и различных значениях параметра $\chi = \frac{A_у}{A_п}$ приведена на рисунке 2.

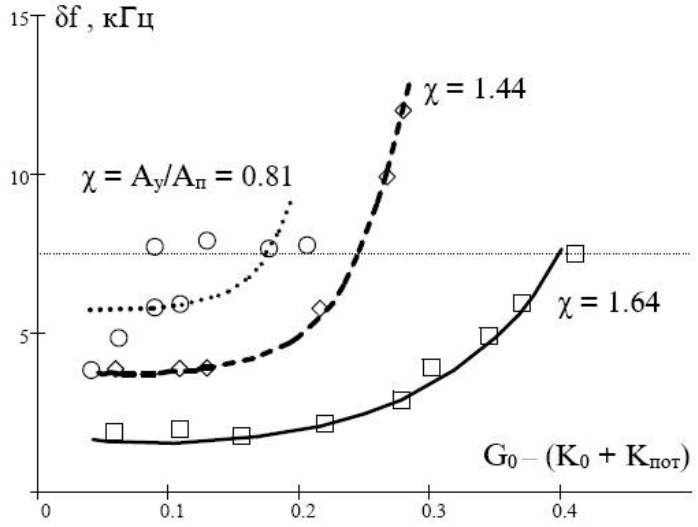


Рисунок 2 - Экспериментальная зависимость ширины сигнала межмодовых биений от величины усиления, величина поглощения K_0 = 0.35

Из приведенных зависимостей следует, что стабильность частоты следования световых импульсов с ростом параметра χ увеличивается.

Рост параметра χ обеспечивается изменением геометрии резонатора, одновременным увеличением сечения пучка в усилителе и уменьшением в поглотителе. В результате создаётся условие более сильного насыщения поглощения в момент прохождения световых импульсов, что в какой-то степени характеризуется как увеличение глубины модуляции.

Третья глава посвящена экспериментальному исследованию влияния разницы, в условиях насыщения усиливающего и поглощающего элементов на энергетические и временные характеристики режима стационарной пассивной синхронизации Ar^+ лазера.

При использовании газоразрядного поглотителя для пассивной синхронизации мод Ar^+ лазера усиление и поглощение происходит на одном и том же переходе иона аргона в близких условиях разряда, поэтому в формуле (1) можно предположить $\sigma_п \approx \sigma_у$.

В этом случае выражение для параметра S имеет вид:

$$S = \alpha \frac{A_у}{A_п} \geq S_{min} \qquad (5)$$

Таким образом, величина S определяется прежде всего соотношением геометрических сечений пучков в усилителе – $A_у$ и поглотителе - $A_п$. Опыты проводились при генерации TEM_{00} моды лазера на длине волны λ = 488 нм. Длина резонатора и положение усилителя к поглотителю подбирались таким, чтобы выполнялось соотношение: $T \sim T_у \rangle T_п$.

Как уже было отмечено, параметр S определяет разницу в условиях насыщения усиливающих и поглощающих сред. Изменение параметра S , в случае Ar^+ лазера достигалось путём изменения длины резонатора, радиуса кривизны зеркал и выбора местоположения усилителя и поглотителя. Зависимость длительности световых импульсов излучения Ar^+ лазера от величины ненасыщенного усиления для двух значений параметра S приведена на рисунке 3. Видно, что и в самом деле увеличение параметра S позволяет уменьшать длительность генерируемых световых импульсов. Здесь же для случая S =2.8 выделены области изменения значения G_0 , в пределах которых наблюдается регулярная временная структура излучения лазера/

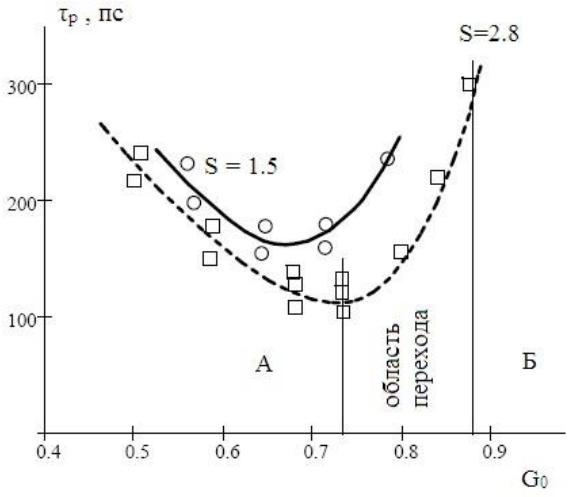


Рисунок 3 Зависимость длительности световых импульсов от величины усиления G_0 и значения параметра S - разницы в условиях насыщения усиливающей и поглощающей сред. T = 12 нс, K_0 = 0.25, $K_{пот}$ = 0.15.

Изменение предельной плотности мощности излучения от условий насыщения активных сред иллюстрируется рисунком 4, на котором приведены зависимости предельных значений плотности средней мощности в бегущей волне в поглотителе $W_{ср}^{*пр}$ от отношения $A_у/A_п$ для «кратного» положения поглотителя и двух значений линейных потерь.

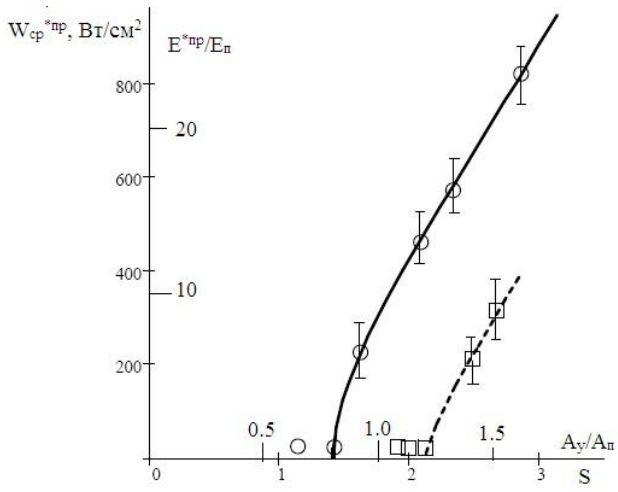


Рисунок 4 - Зависимость предельной плотности средней мощности в поглощающем элементе $W_{ср}^{*пр}$ в режиме синхронизации мод от отношения сечений пучка в усиливающей и поглощающей средах $A_у/A_п$ при различных потерях в резонаторе. Положение поглощающего элемента η = 2, T = 12 нс, K_0 = 0.2; ○ – $K_{пот}$ = 0,1 ; □ - $K_{пот}$ = 0,2.

Наличие $(A_у\ A_п)_{min}$, величина которого связана соотношением линейных и нелинейных потерь

$$S = \alpha\left(\frac{A_у}{A_п}\right)_{min} = \frac{2K_0 + K_{пот}}{2K_0} \qquad (6)$$

позволило экспериментально определить значение параметра α, которое в случае кратного положения протяженного поглотителя оказалось равным 1.7.

Следует отметить, что в соответствие с формулой (9) минимальное значение параметра S действительно зависит от величины линейных потерь. Увеличение последних требует реализации большего значения параметра S для получения режима пассивной синхронизации мод.

В эксперименте с Ar^+ лазером было найдено, что наилучшие характеристики в излучении получаются при достижении предельной плотности энергии в поглотителе $\varepsilon_п^{пр} = \frac{E_п^{пр}}{A_п}$, ограничиваемой сменой временной структуры излучения. Величина $\varepsilon_п^{пр}$ однозначно определяется выбором величин ненасыщенного поглощения, параметра S и интервала между импульсами.

Для большого значения поглощения достигаются предельные энергетические и временные характеристики, за пределами которого наблюдаются автомодуляционные процессы, как это представлено на рисунке 5.

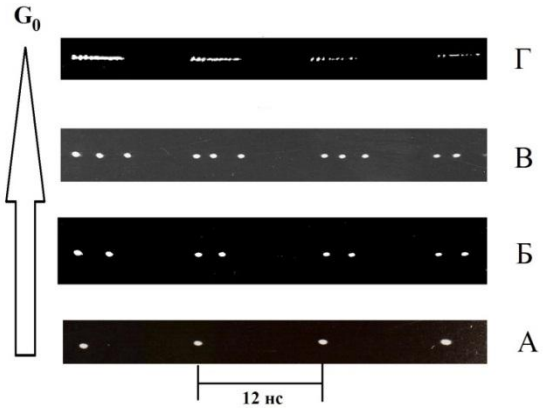


Рисунок 5 - Временная структура излучения Ar^+ лазера с пассивной синхронизацией мод, наблюдаемая по мере увеличения G_0 при фиксированных значениях K_0 и параметра S.

Предложен феноменологическая модель авто модуляционных процессов в резонаторе лазера при стационарной пассивной синхронизации его мод, с учетом протяженности усилителя и поглотителя в случае, когда длительность импульсов много меньше времен релаксации усиления и поглощения. В эксперименте с Ar^+ лазером было найдено, что наилучшие характеристики в излучении получаются при достижении предельной плотности энергии в поглотителе $\varepsilon_п^{пр} = \frac{E_п^{пр}}{A_п}$, ограничиваемой сменой временной структуры излучения. Результаты экспериментальных исследований находящиеся в хорошем согласии с результатами численных расчетов разработанной модели приводятся на рис. 6 и 7.

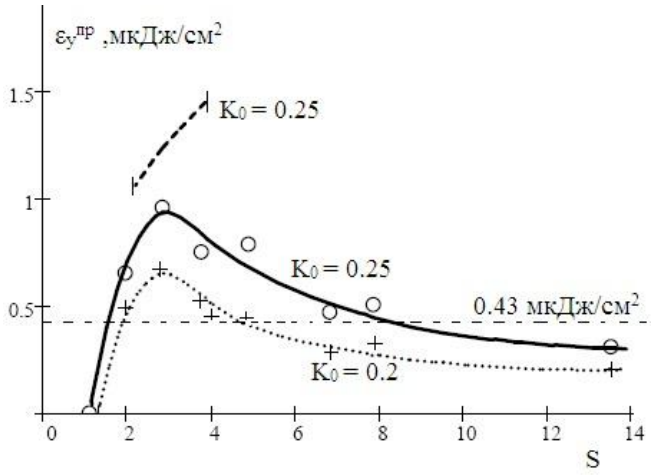


Рисунок 6 - Зависимость предельной плотности световой энергии в усилителе $\varepsilon_у^{пр}$ Ar^+ лазера от величины параметра S

при генерации эквидистантных импульсов T = 10.3 нс. Эксперимент: • - K_0 = 0.2, ⊙ - K_0 = 0.25. Тонкая линия вблизи S = 2.8, расчет для K_0=0.25 и $K_{пот}$ = 0.15.

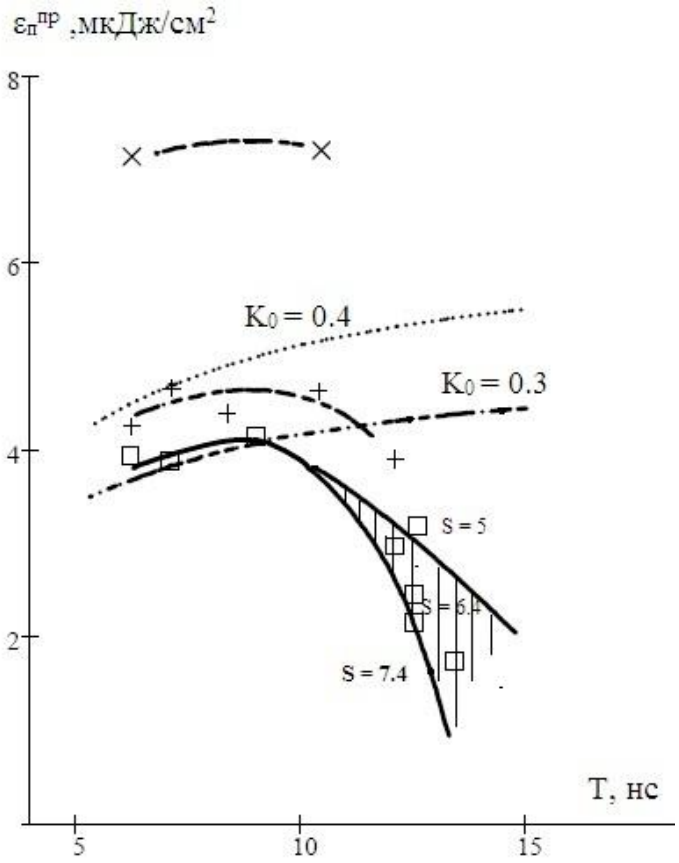


Рисунок 7 - Зависимость предельной плотности световой энергии в поглотителе $\varepsilon_п^{пр}$ Ar^+ лазера от величины ненасыщенного поглощения K_0 при генерации эквидистантных импульсов с T = 10.3 нс. Эксперимент: S =3÷14, погрешность ~ 0.2. Тонкая линия: расчет для S = 2.8 и $K_{пот}$ = 0.15.

Четвертая глава диссертации посвящена исследованию комбинированной синхронизации мод лазера на красителе Rh6G при использовании в качестве насыщающегося поглотителя из порошка Малахитового зеленого.

Экспериментально показана возможность выбора насыщающегося поглотителя по спектральным характеристикам согласно формуле (1), для получения эффективного сжатия длительности генерируемых световых импульсов, при комбинированной синхронизации мод лазера на красителе. Зависимость полуширины автокорреляционных функций от длины волны генерации лазера на красителе Rh6G при комбинированной синхронизации мод с Малахитовым зеленым приводится на рис.8.

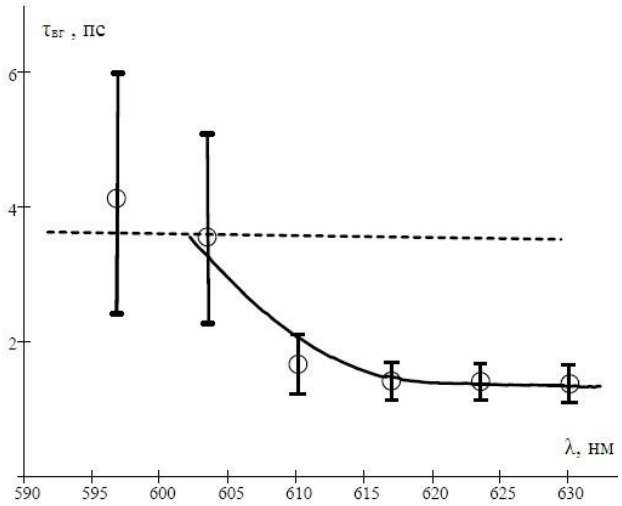


Рисунок 8 - Зависимость полуширины автокорреляционных функций от длины волны генерации лазера на красителе Rh6G при комбинированной синхронизации мод, пунктирная линия соответствует чисто синхронному возбуждению.

В связи с тем, что соотношения оптических сечений для Rh6G и Малахитового зеленого имеют разные значения, эффективное действие поглотителя наблюдается в длинноволновой области. Дополнительное сокращение длительности генерируемых световых импульсов достигается только в области длин волн, где

выполняется условие (1). Таким образом, впервые, было экспериментальное подтверждение существования критерия выбора насыщающегося поглотителя по спектральным характеристикам для синхронизации продольных мод заданного типа лазера.

Впервые экспериментально обнаружено повышение стабильности излучения лазера в режиме комбинированной синхронизации мод, связанное с увеличением глубины модуляции и появлением горизонтального участка в зависимости полуширины автокорреляционной функции генерируемых световых импульсов от величины рассогласования длины резонаторов (рис.9).

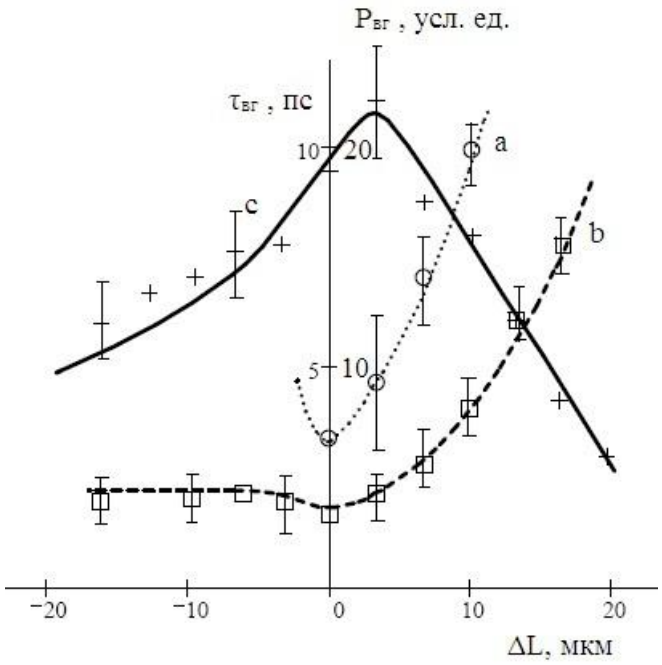


Рисунок 9 - Зависимости полуширины автокорреляционных функций - $\tau_{вг}$ (a, в) и мощности второй гармоники - $P_{вг}$ - (c) от величины рассогласования резонаторов ΔL. Кривые (в) и (с) относятся к комбинированной синхронизации мод, (а)- чисто синхронному возбуждению.

В отличие от обычной, чисто активной синхронизации мод, представленных на рисунке в виде точечной зависимости, введение насыщающегося поглотителя внутрь резонатора лазера на красителе во первых сокращает длительность световых импульсов и во-вторых в области отрицательного рассогласования длины резонаторов достигнутая минимальная длительность остается неизменной. Следует отметить, что в этой области практически нет возможности получения режима генерации световых импульсов. Достижение высокой стабильности генерации сверхкоротких световых импульсов при введении насыщающегося поглотителя внутри резонатора лазера с активной синхронизацией мод является подтверждением возможности эффективного повышения временных энергетических характеристик. Данный способ, впервые, нами был определен как режим комбинированной синхронизации мод.

Регистрации сверхкоротких световых импульсов в основном производится в виде автокорреляционной функции при генерации второй гармоники излучения, который является хорошим показателем степени когерентности и формы световых импульсов. Автокорреляционные функции световых импульсов лазера на красителе представлены на рис.16.

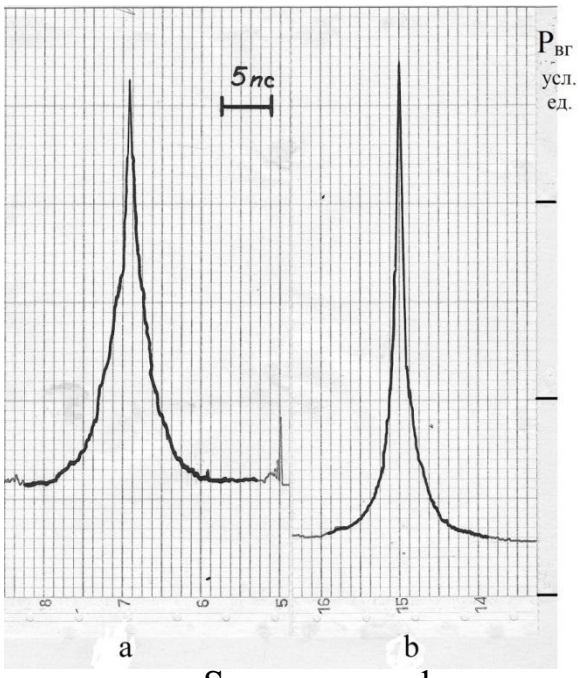


Рисунок 10 - Типичный вид прописываемых автокорреляционных функций при чисто синхронном возбуждении Rh6G -(а) и при комбинированной синхронизации мод с добавкой Малахитового зеленого - (в). Длина волны генерации Rh6G - $\lambda_г$ = 620 нм, концентрация поглотителя 1.7 x 10^{-5} М.

С целью теоретического подтверждения эффекта повышения стабильности режима комбинированной синхронизации мод, в теоретической модели были введены дополнительные модули расчета действия насыщающегося поглотителя и учета разницы в плотности энергии импульса в усилителе и поглотителе (учет параметра S согласно формуле (1)). Следует отметить, что только при выполнении условия (1), в численных расчетах, было достигнуто эффективное действие насыщающегося поглотителя на сокращение длительности импульсов и сохранения их генерации в области отрицательного рассогласования длины резонаторов.

Результаты численных расчетов режима комбинированной синхронизации мод, приведены на рис.11. На основе расчетных данных удалось объяснить механизм дополнительного сжатия длительности генерируемых световых импульсов при комбинированной синхронизации мод.

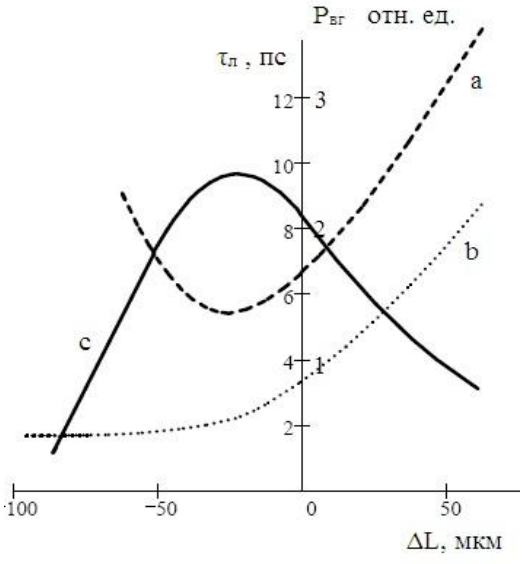


Рисунок 11 - Расчетные зависимости длительности световых импульсов-(а),(в) и мощности второй гармоники-(с) лазера на красителе для комбинированной синхронизации мод - (в), (с) и чисто синхронного возбуждения - (а).K_0 = 0.27, χ = 5.

Расчеты показывают, что добавление нелинейного поглотителя приводит не только к уменьшению длительности получаемых световых импульсов, но и существенно увеличивает их энергию и амплитуду. При тех же расстройках для комбинированной синхронизации мод не наблюдается появление импульсов-сателлитов. Энергия формируемых световых импульсов оказывается достаточной для сильного насыщения усиления, что исключает возможность появления дополнительных световых импульсов.

Выход на горизонтальный участок зависимости $\tau_л$ в области $\Delta L < 0$

(рисунок 11 (а)) означает ослабление механизма сжатия длительности световых импульсов, что связано с уменьшением их амплитуды (зависимость (с) на рисунке 11) в результате более раннего прихода в усилитель.

Таким образом было получено полное качественное согласие результатов эксперимента и численных расчетов параметров режима комбинированной синхронизации мод непрерывного лазера на красителе которые подтвердили во-первых существовании критерия выбора насыщающегося поглотителя, во-вторых дополнительное сокращения длительности световых импульсов и в третьих повышение стабильности режима генерации лазера при комбинированной синхронизации мод.

Пятая глава посвящена численному расчету корреляции временных, спектральных и энергетических характеристик импульсов с точки зрения их применения в системах цифровой обработки информации.

Известно, что длительность световых импульсов однозначно определяется шириной спектра излучения обратно пропорциональные временам релаксации инверсии заселенности и поляризации верхнего уровня лазерного перехода. Последняя оказывается всегда короче и минимальная длительность, достигаемая при синхронизации мод, ограничивается именно этой величиной. В связи с этим при условиях приближения к генерации предельной длительности световых импульсов существенными становятся процессы когерентного взаимодействия световых импульсов ка усиливающей так и поглощающей сред.

Периодическая последовательность сверхкоротких световых импульсов имеет две основные временные характеристики, это длительность отдельного светового импульса и период времени между импульсами. Однозначная связь между спектральными и временными характеристиками периодического сигнала, определяемого преобразованиями Фурье, позволяет проводить численные расчеты спектра любого периодического сигнала и наоборот рассчитать временную структуру любой формы спектра.

Экспериментальные исследования, области существования режима синхронизации мод, подтвердили, что существуют несколько пределов режима синхронизации мод связанной с изменением временной структуры излучения переходом от одиночных импульсов к сложным структурам наличием дополнительных импульсов сателлит. Эти структуры обладают достаточной стабильностью, которая подтверждается гистерезисными эффектами при переходе от одной структуры к другой. Это обстоятельство делает их привлекательным с точки зрения высоких энергетических характеристик. Однозначная корреляция наблюдается для формы импульса и занимаемой спектральной полосой излучения, которая оказывается меньше для синусоидальной и экспоненциальной формы.

Взаимная зависимость спектральных и временных характеристик источников информации широко применяются для интерпретации результатов экспериментальных исследований при возможности регистрации лишь одной из этих характеристик.

Такая возможность была использована для раскрытия природы и механизма появления импульсов сателлит при переходе на большие энергетические показатели лазера с пассивной синхронизацией мод. Для заданной периодической последовательности импульсов приведенных на рис. 12 были произведены расчеты формы спектра представленных на рис.13.

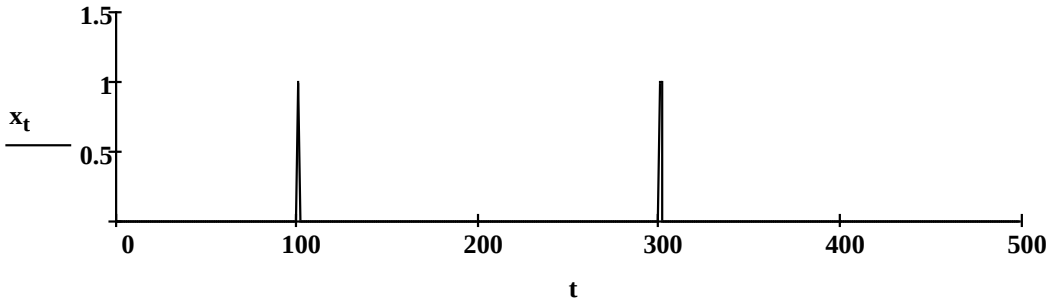


Рисунок 12 - Форма исходного сигнала из двух импульсов длительностью 1 сек. и амплитудой равной 1 усл. ед.

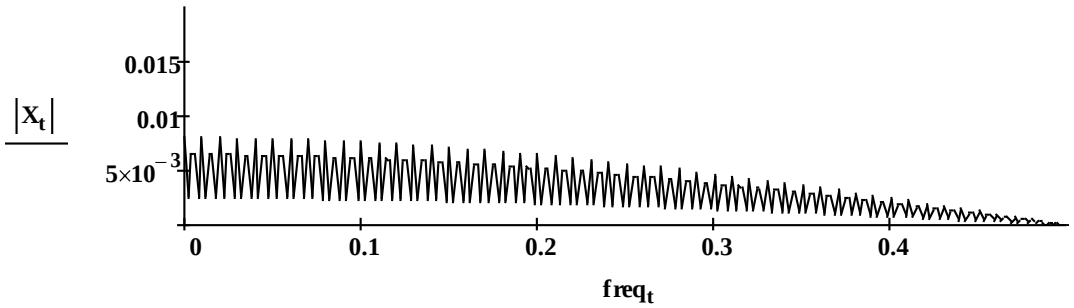


Рисунок 13 - Форма спектра заданного на рис.20 сигнала.

Механизм и природа появления сложной временной структуры импульсов при высоких энергетических характеристиках лазера с синхронизацией мод в течении долгого времени оставалось не выясненными. Для этого были проведены численные расчеты формы спектра сложной временной структуры представленной на рис.14, которые приводятся на рис. 15.

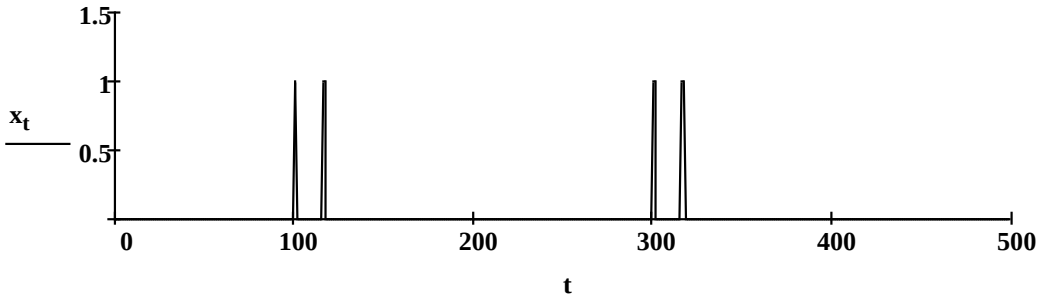


Рисунок 14 - Временная структура пары импульсов на заданном периоде.

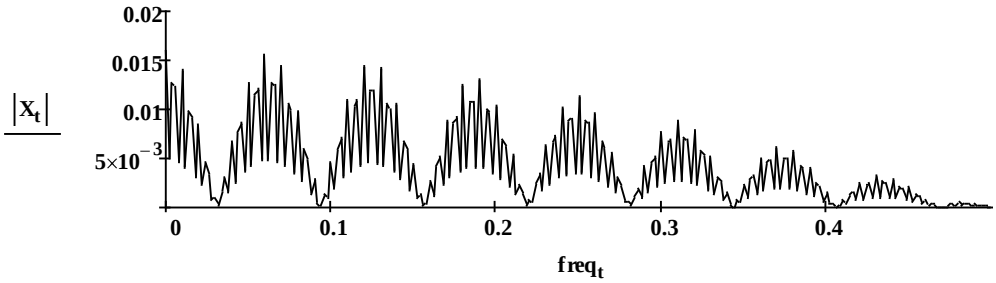


Рисунок 15 - Спектр структуры пары одинаковых по амплитуде импульсов на периоде.

На основе приведенной зависимости можно сделать следующие выводы и заключения. Прежде всего, имеет место образование новой периодической структуры связанной непосредственно по одному импульсу сателлит рядом с каждым основным импульсом. Периодичность структуры непосредственно определяется равными интервалами между основным и импульсом сателлит. Величина периода на спектре измениться пропорционально величине интервала времени между основным импульсом и его сателлитом.

Аналогичные расчеты проведены для сравнения сигнала биений для периодической последовательности импульсов разной структуры. Получена однозначная корреляция формы сигнала биений и временной структуры периодических сигналов. На основе их сравнения было сделано заключение, что в непрерывных лазерах возможна одновременная синхронизация нескольких групп продольных мод. Если центральная частота групп разная, то это однозначно проявляется на сигналах биений, как это наблюдается на рис.16. Наблюдается набор сигналов биений, и разница между этими сигналами определяет разницу центральных частот групп, определяемая разницей в оптической длине резонатора зависящая в свою очередь от значения насыщенного усиления и поглощения активной и пассивной среды.

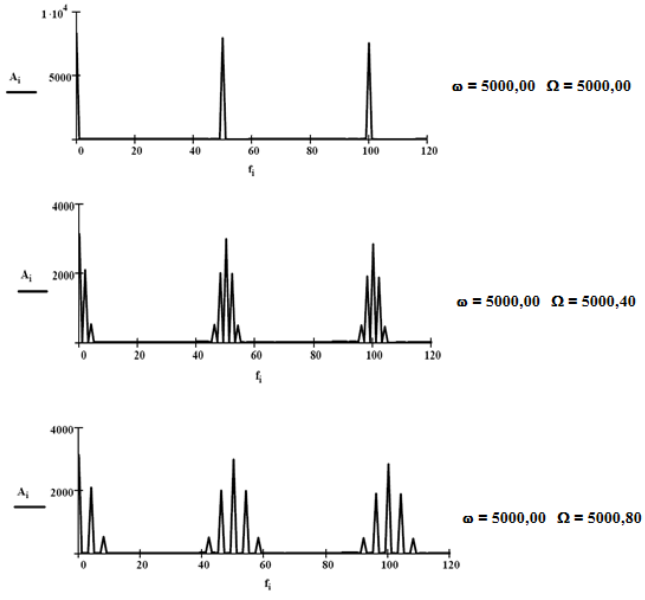


Рисунок 16 - Зависимость структуры сигнала биений - A_i от частоты - f_i для разных центральных частот в одной из групп гармонических колебаний

Это подтверждает механизм формирования сложной структуры излучения с несколькими импульсами на одном периоде как следствие появления достаточного усиления или энергии для формирования новых импульсов на одном периоде, при увеличении коэффициента усиления лазера.

Сравнение результатов численных расчетов показывают возможность интерференции нескольких, а

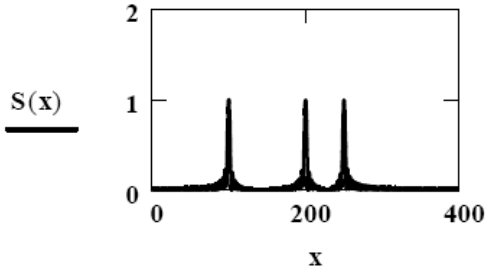
значит и множества групп гармонических колебаний. Это в свою очередь представляет собой, режим синхронизации, множества групп продольных мод непрерывных лазеров.

Шестая глава посвящена разработке способов применения излучения лазера с синхронизованными модами для формирования много битной информации в цифровых системах и обработки твердых тел.

Режим синхронизации продольных мод лазера характеризуется достаточно сильной связью набора эквидистантных, в шкале частот, электромагнитных волн с высокой стабильностью, формирующий сверхкороткие световые импульсы. При этом, чем больше число волн тем короче длительность светового импульса. Если каждая синхронизованная волна является носителем одного бита информации, то получается, что чем больше объем информации в одном таком импульсе, тем меньше ее длительность. Это уникальная возможность сжатия информации, которую на сегодняшний день не применяют в квантовых компьютерах (Таблица 1).

Период следования импульсов однозначно определяется частотным интервалом между соседними колебаниями. Длительность импульсов напрямую зависит от количества суммируемых колебаний.

Таблица 1 - Зависимость спектра от значения двоичного кода

$n_{0,j}$	|S(x)| - спектр синхронизованных волн
1 0 1 1	

В связи с этим режим синхронизации мод непрерывного лазера можно использовать для формирования много битной информации, где каждая элементарная единица информации состоит из одной продольной мода резонатора.

Каждому набору двоичного кода - $n_{0,j}$ соответствует свой спектр |S(x)| из набора дискретных частот и они однозначно связаны между собой. Задача управления продольными мода может быть решена путем генерации в насыщающемся поглотителе через отдельный кольцевой резонатор или парой дифракционных решеток.

Режим синхронизации продольных мод относится к колебательной системе высокой добротности, поскольку достигается в условиях сильного насыщения, как поглощения, так и усиления лазерной системы. Не зависимо от появления дополнительных импульсов сателлит режим генерации лазера, и временные характеристики остаются стабильными. Энергетические характеристики лазера с синхронизацией мод, при сложной временной структуре, являются много выше чем временной структуры

одиночных импульсов. Применением световых импульсов сложной структуры излучения лазера, где обеспечивается высокая стабильность временных и энергетических характеристик, достигается более высокие показатель в результатах воздействия на процессы обработки материалов.

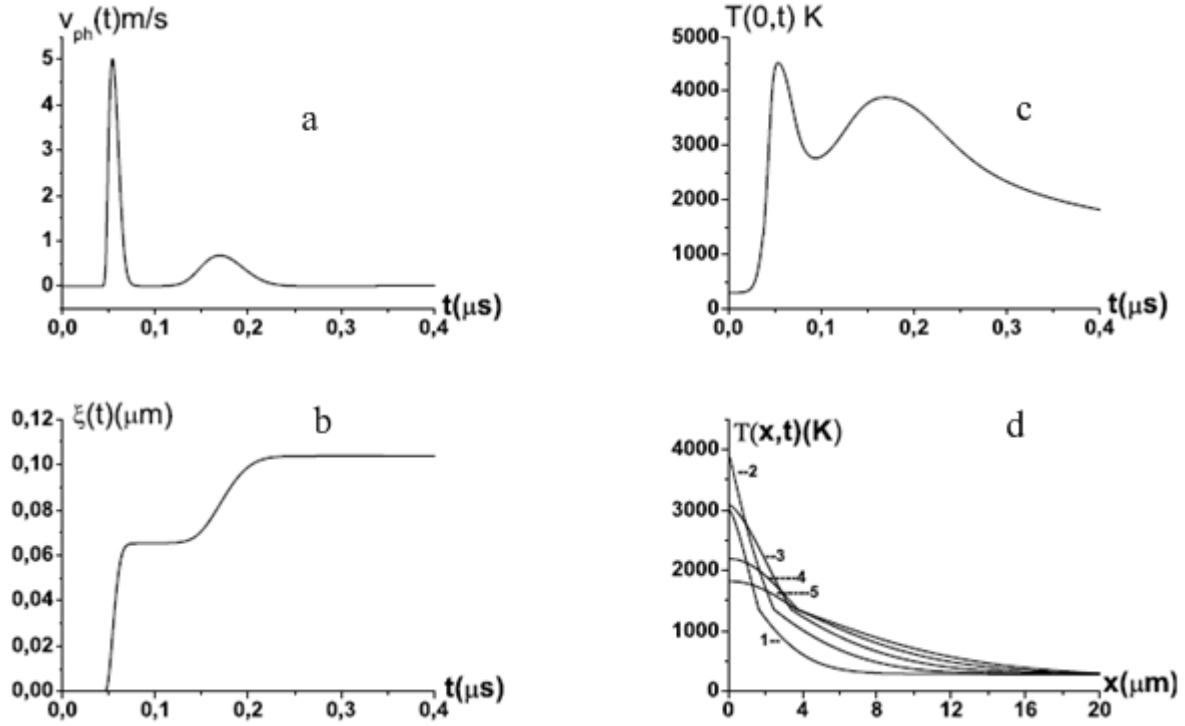


Рисунок 17 - Временные зависимости скорости перемещения границы из за испарения - (a), координаты перемещенной границы – (b), температуры на границе x=ξ(t) - (c) и профилей температуры в разных моментах времени скорости перемещения и профиля температуры в момент времени: 1 - $t = 0,08\ \mu s$; 2- $t = 0,16\ \mu s$; 3- $t = 0,24\ \mu s$; 4- $t = 0,32\ \mu s$; 5- $t = 0,4\ \mu s$; - (d).

Численными расчетами показана однозначная зависимость временных и размерных откликов воздействия излучения лазера сложной временной структуры в процессе абляции (рис.17 a,b,c).

В разделе «**Обсуждение полученных результатов**» изложен краткий анализ данных экспериментального и теоретического исследования.

ВЫВОДЫ

Основные научные результаты диссертации

В диссертационной работе получены следующие результаты:

- Эффективное действие медленного насыщающегося поглотителя в непрерывных лазерах определяется созданием разницы в условиях насыщения определяемого параметром $S = \alpha * \frac{A_a}{A_b} * \frac{\sigma^b}{\sigma^a}$; [17-A],[26-A],[31-A];
- Использование насыщающегося поглотителя повышает стабильность генерации непрерывного лазера в режиме пассивной и комбинированной синхронизации мод [10-A], [30-A];
- Разработан газоразрядный поглотитель для пассивной синхронизации мод непрерывного Ar+ лазера [18-A], [32-A];

- Гистерезисные явления в непрерывных лазерах с пассивной синхронизацией мод связаны с процессами насыщения усиливающих и поглощающих сред [15-А], [20-А];
- В случае использования усилителя и поглотителя как отдельные части, разница в условиях насыщения достигается за счет геометрического сечения пучков в каждой компоненте, «встречей» импульсов внутри поглотителя и раздельном прохождении их через усиливающую компоненту, а также процессами когерентного взаимодействия формируемых световых импульсов в усилителе и поглотителе [19-А],[23-А],[24-А];
- Существует критерий выбора насыщающегося поглотителя для комбинированной синхронизации мод непрерывного лазера на красителе по спектральным характеристикам ($\sigma_п / \sigma_у > 1$) [5-А], [16-А];
- Сложная временная структура излучения непрерывного лазера в режиме пассивной синхронизации мод имеет высокую стабильность, и периодические квазиимпульсы являются когерентными [4-А], [6-А], [36-А];
- В процессе формирования временной структуры излучения непрерывного лазера большое значение имеет энергетические характеристики излучения, которые и определяют существования оптимальной разницы в условиях насыщения S_{opt} [2-А], [21-А];
- Численные расчеты спектров подтверждает возможность одновременной синхронизации нескольких групп продольных мод в непрерывных лазерах с синхронизацией мод [8-А], [11-А], [12-А];
- Создание условия генерации в насыщенном поглотителе является способом ввода информации в световом импульсе [3-А], [9-А], [29-А], [33-А];
- Непрерывные лазеры с синхронизацией продольных мод могут быть использованы для формирования многобитной информации [13-А], [14-А], [22-А], [25-А], [35-А];
- Периодические импульсы сложной структуры и квазиимпульсы способствуют повышения эффективности процесса лазерной абляции [7-А], [27-А], [28-А], [34-А];

Рекомендации по практическому использованию результатов

Результаты диссертации могут быть использованы при разработке и создании непрерывных лазеров работающих в режиме пассивной и комбинированной синхронизации мод с целью генерации предельно коротких импульсов излучения в виде электромагнитного поля. Также их можно использовать при разработке и создания систем обработки информации, исследования и управления процессов, связанных с высокоточным измерением расстояния, времени и частоты, как в фундаментальной науке, так и прикладных задачах.

Результаты диссертации можно использовать при чтении спецкурсов и написании научных работ для магистрантов, аспирантов и студентов старших курсов физических, математических и телекоммуникационных специальностей учебных заведений.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Paul P. M. Observation of a Train of Attosecond Pulses from High Harmonic Generation [Text] / Paul P. M. et al. // Science – 2001. – Vol.292 – P.1689-1692.
2. Kling F. Attosecond Electron Dynamics [Text] / Kling F. and Vrakking J.J. // Annual Review of Physical Chemistry – 2008. Vol. 59(1) – P. 463-492.
3. Cavalieri A. L. 1.5-cycle near infrared laser waveforms and their use for the generation of ultra-broadband soft-x-ray harmonic continua [Text] / Cavalieri A. L., Goulielmakis E., Horvath B., Helml W., Schultze M., Fieß M., Pervak V., Veisz L., Yakovlev V. S., Uiberacker M., Apolonski A., Krausz F., Kienberger R. // New J. Phys. – 2007. – Vol. 9 – №7 – P. 242-1–242-12.
4. Haus H.A. Mode-locking of Lasers [Text] / H.A. Haus // IEEE J. on selected topics in Quant. Electron. - 2000. -V.6. -№ 6. - P.1173-1185.
5. Haus H.A. Theory of mode-locking with slow saturable absorber [Text] / H.A. Haus // IEEE J. Quant. Electron. - 1975. - V.11. - № 9. - P.736-746.
6. Басов Н.Г. Изменение формы импульса света при нелинейном усилении [Текст] / Н.Г. Басов, В.С. Летохов // ДАН СССР. - 1966. - Т.167. - №1. - С.73-76.
7. Ganeev R.A. Comparison studies of high-order harmonic generation in argon gas and different laser-produced plasmas [Text] / R.A. Ganeev, G.S. Boltaev, V.V. Kim, M. Venkatesh, C. Guo // OSA Continuum – 2019. – Vol.2 (8) – P.2381-2390.
8. Christov I. P. High-Harmonic Generation of Attosecond Pulses in the “Single-Cycle” Regime [Text] / I. P. Christov, M. M. Murnane, and H. C. Kapteyn // Phys. Rev. Lett.- 1997. – Vol.78(7) – P.1251-1254
9. Li S. Q. Ultrathin gold nanowires as broadband saturable absorbers for ultrashort pulsed lasers [Text] / S. Q. Li, C. J. Lv, H. Y. Luo, et al. // Laser Phys. Lett. - 2022. – Vol. 19(9) – P. 095102.
10. Zhao X. L. Integration and applications of nanomaterials for ultrafast photonics [Text] / X. L. Zhao, H. Jin, J. Y. Liu, et al. // Laser Photonics Rev. - 2022. – Vol. 16(11) – P. 2200386.
11. Chen S. Wavelength-dependent nonlinear absorption of gold nanobipyramids with large saturable modulation depth [Text] / S. Chen, Y. Gao, R. P. Niu, et al. // Opt. Laser Technol. - 2022. – Vol. 147– P. 107686.
12. Гафуров Х.Г. Повышение стабильности непрерывного лазера на красителе с синхронным возбуждением при введении нелинейного поглотителя [Текст] / Х.Г. Гафуров, Д.П. Криндач, В.А. Нехаенко, А.Г. Яковлев // Квантовая электроника. - 1985. - Т.12. - № 6. - С.1279-1282.
13. Нехаенко В.А. К теории синхронной накачки лазеров на красителях / [Текст] /В.А. Нехаенко // Квантовая электроника. -1981. -Т.8. - № 4.- С.734-744.

СПИСОК НАУЧНЫХ РАБОТ СОИСКАТЕЛЯ УЧЁНОЙ СТЕПЕНИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Монографии:

[1-А] Криндач Д.П. Фемтотехнология световых импульсов [Текст] / Д.П. Криндач, Б.И. Назаров, **Х. Гафуров**. - Душанбе: Ирфон, 2016. -156 С.

Статьи, опубликованные в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК при Президенте Республики Таджикистан и ВАК при Министерстве науки и образования РФ:

[2-А] Gafurov H. Simulation of laser ablation of materials within the thermal spike model [Text] / I.V. Amirkhanov, I. Sarkhadov, Z.K. Tukhliev, H. Gafurov / Journal of Surface Investigation: X-Ray, Synchotron and Neutrin Techniques. - 2024. - V.18. - № 2. - P. 348-353.

[3-А] Гафуров Х. Исследование временных и энергетических характеристик непрерывного лазера при пассивной синхронизации продольных мод [Текст] / Х. Гафуров // Учёные записки ХГУ им Б. Гафурова. Серия: Естественные и экономические науки. - 2023. - № 3 (66). - С. 10-15.

[4-А] Гафуров Х. Применение дифракционных решеток для размещения много битной информации в световых импульсах лазера с синхронизованными модами [Текст] / Х. Гафуров // Политехнический вестник. Таджикского политехнического университета имени академика М.С.Осими, серия: интеллект, инновации, инвестиции. - 2023. - №1 (61). - С. 22-26.

[5-А] Гафуров Х. Синхронизация нескольких групп продольных мод непрерывных лазеров [Текст] / Х. Гафуров // Учёные записки ХГУ им Б. Гафурова. Серия: Естественные и экономические науки. - 2022. - № 3 (62). - С. 50 - 55.

[6-А] Гафуров Х. Исследование границ существования синхронизации продольных мод лазера с нелинейным поглотителем в резонаторе [Текст] / // Политехнический вестник. Таджикского политехнического университета имени академика М.С.Осими, серия: интеллект, инновации, инвестиции. // 2022. №3 (59). С.19-23.

[7-А] Гафуров Х.Г. Механизм высокой стабильности временной структуры лазера с синхронизацией мод [Текст] / Х.Г. Гафуров, Х.А. Тошходжаев // Известия Академии наук Республики Таджикистан отделение физико-математических, химических, геологических и технических наук. - 2020. - №1 (178). - С.57-64.

[8-А] Гафуров Х.Г. Моделирование воздействия лазерного импульса сложной временной структуры на тепловые процессы в твердых телах [Текст] / Х.Г. Гафуров, И. Сархадов, Х.А. Тошходжаев, М. Хомидов // Политехнический вестник. Таджикского политехнического университета имени академика М.С.Осими, серия: интеллект, инновации, инвестиции. - 2019. - №2 (46). - С.41-46.

[9-А] Гафуров Х.Г. К волновой теории пассивной синхронизации мод непрерывных лазеров [Текст] / Х.Г. Гафуров, Х.А. Тошходжаев, М.Н. Рахматов // Учёные записки ХГУ им Б. Гафурова. Серия: Естественные и экономические науки. - 2019. - № 3 (50). - С. 33 - 38.

[10-А] Гафуров Х.Г. Способ формирования многобитной информации в лазерах с пассивной синхронизацией мод [Текст] / Х.Г. Гафуров, Б.И. Назаров, С.Ф. Абдуллаев // Известия Академии наук Республики Таджикистан отделение физико-математических, химических, геологических и технических наук. - 2019. - №3 (176). - С. 32-37.

[11-А] Гафуров Х.Г. Самостабилизация режима генерации аргонового лазера с нелинейным поглотителем внутри резонатора [Текст] / Х.Г. Гафуров, Х.А. Тошходжаев // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. - 2019. - №4. - С.100 – 107.

[12-А] Гафуров Х.Г. Спектрольный анализ излучения периодических импульсов сателлит [Текст] / Х.Г. Гафуров, Х.А. Тошходжаев, М.Н. Рахматов // Учёные записки ХГУ им Б. Гафурова. Серия: Естественные и экономические науки. - 2018. - №3 (46). - С.12-17.

[13-А] Гафуров Х.Г. Анализ спектральной полосы отдельных импульсов [Текст] / Гафуров Х.Г., Тошходжаев Х.А., Рахматов М.Н. // Политехнический вестник. Таджикского политехнического университета имени академика М.С.Осими, серия: интелект, инновации, инвестиции. - 2018. - №3 (43). - С.36-38.

[14-А] Гафуров Х.Г. Применение синхронизации продольных мод лазеров для формирования многобитной информации [Текст] / Х.Г. Гафуров, Х.А. Тошходжаев, Б.И. Назаров, С.Ф. Абдуллаев // Учёные записки ХГУ им Б. Гафурова. Серия: Естественные и экономические науки. - 2017. - №1(40). - С.93-102.

[15-А] Гафуров Х.Г. Возможности применения волоконного лазера для обработки цифровой информации [Текст] / С.Ф. Абдуллаев, Б.И. Назаров, , М.Н. Рахматов // Учёные записки ХГУ им Б. Гафурова. Серия: Естественные и экономические науки. - 2017. - №4 (43). - С.3-9.

[16-А] Гафуров Х.Г. Гистерезисные эффекты в Ar+ лазера нелинейным поглотителем в резонаторе [Текст] / Х.Г. Гафуров, Д.П. Криндач // Квантовая электроника.- 1985. - Т.12. - № 3. - С.625-627.

[17-А] Гафуров Х.Г. Повышение стабильности генерации непрерывного лазера на красителе с синхронным возбуждением при введении нелинейного поглотителя [Текст] / Х.Г. Гафуров, Д. П. Криндач, В.А. Нехаенко, А.Г. Яковлев // Квантовая электроника. - 1985.- Т.12. - № 6. - С.1279-1282.

[18-А] Гафуров Х.Г. Стационарная пассивная синхронизация мод Ar+ лазера [Текст] / Х.Г. Гафуров, Д. П. Криндач, А.Г. Яковлев // Квантовая электроника. - 1985. - Т.12. - № 7. - С.1503-1510.

[19-А] Гафуров Х.Г. Газоразрядный поглотитель для пассивной синхронизации мод Ar+ лазера [Текст] / Х.Г. Гафуров, Д.П. Криндач, Б.И. Назаров, А.К. Романюк // Докл. АН Тадж. ССР. - 1984. - Т.27. - № 11. - С.648-651.

[20-А] Гафуров Х.Г. Энергетические характеристики излучения Ar+ лазера в режиме пассивной синхронизации мод [Текст] / Х.Г. Гафуров, Д.П. Криндач, Б.И. Назаров, В.И. Новодережкин // Журнал технической физики. - 1983. - Т.53. - № 8. - С.1536-1540.

Статьи опубликованные в других изданиях:

[21-А] Гафуров Х. Физические основы формирования импульсов сателлит при пассивной синхронизации продольных мод непрерывного лазера [Текст] / Х.Г. Гафуров // Fergana State University Conference, 07. - Retrieved from https://conf.fdu.uz/index.php/conf/article/view/2308 2024, 25.05.2024, 10.30

[22-А] Гафуров Х. Эффективный метод контроля синхронизации продольных мод непрерывного лазера [Текст] / Х.Г. Гафуров // Материалы Республиканской научно-практической конференции с участием зарубежных учёных «Проблемы и перспективы оптики и лазерной физики» Посвященная 80-летию образования Академии наук Республики Узбекистан, 26 октября 2023 года. - Ташкент, 2023. - С.56-57.

[23-А] Гафуров Х. – Применение основного закона оптики для уплотнения информации [Текст] / Х.Г. Гафуров // Материалы Республиканской научно-практической конференции «Современные проблемы физики конденсированных состояний», Посвященной 75-летию со дня основания Таджикского национального университета, Международному году защиты ледников и 80-летию со дня рождения доктора физико – математических наук, профессора Туйчиева Шарофидина (24-25 октября 2023 г.) - Душанбе, 2023. - С.86-90.

[24-А] Гафуров Х. - Исследование области существования пассивной синхронизации мод [Текст] / Х.Г. Гафуров // Маводи конференсияи ҷумҳуриявии илмӣ-амалии «Саҳми олимони фанҳои дақиқ дар рушди саноатикунонии кишвар» бахшида ба “Бистсолаи омӯзиш ва рушди фанҳои табиатшиносӣ, дақиқ ва риёзӣ дар соҳаи илму маориф ” ва 85-солагии аъзо-корреспонденти Академияи муҳандисони Ҷумҳурии Тоҷикистон ва Руссия, профессор Рабеҷонов Набиҷон ва профессор Латипов Ҷалол Латипович. (18-уми октябри соли 2023) . - Хуҷанд,2023. - С.106-109 .

[25-А] Гафуров Х. - Требование режима синхронизации мод непрерывных лазеров [Текст] / Х.Г. Гафуров // Маводи конференсияи ҷумҳуриявии илмӣ-амалии «Саҳми олимони фанҳои дақиқ дар рушди саноатикунонии кишвар» бахшида ба “Бистсолаи омӯзиш ва рушди фанҳои табиатшиносӣ, дақиқ ва риёзӣ дар соҳаи илму маориф ” ва 85-солагии аъзо-корреспонденти Академияи муҳандисони Ҷумҳурии Тоҷикистон ва Руссия, профессор Рабеҷонов Набиҷон ва профессор Латипов Ҷалол Латипович. (18-уми октябри соли 2023) . - Хуҷанд,2023. - С.58-59.

[26-А] Ғафуров Ҳ. Воҳиди нави ҳаҷми иттилоот ва равандҳои мавҷӣ

[Текст] / Х.Г. Гафуров // Маводи конференсияи ҷумҳуриявии илмӣ – амалӣ бахшида ба солҳои 2020-2040 “Бистсолаи омӯзиш ва рушди фанҳои табиатшиносӣ, дақиқ ва риёзӣ дар соҳаи илму маориф” ва солҳои 2022-2026 “ Солҳои рушди саноат” " Рисолати илми физика дар инкишофи техника ва технологияи муосир" 16-17-уми марти соли 2023. - Хуҷанд, 2023. - С. 100-108.

[27-А] Гафуров Х. - К вопросу выбора режима синхронизации мод в лазерах на квантовых точках [Текст] / Х.Г. Гафуров // Материалы Республиканской научно-практической конференции «Развитие и достижения физической науки в годы независимости», посвященной 32-летию Государственной независимости Республики Таджикистан (25-26 августа 2023 г.). - Душанбе: «Дониш», 2023 - С. 113-118.

[28-А] Гафуров Х.Г. Численное моделирование лазерной абляции материалов в образцах конечной толщины [Текст] / И.В. Амирханов, И. Сархадов, З.К. Тухлиев, Х.Г. Гафуров // Материалы Всероссийской конференции с международным участием «Информационно - телекоммуникационные технологии и математическое моделирование высокотехнологических систем» - Москва, РУДН, 2022

[29-А] Гафуров Х.Г. Численное исследование влияния конечной толщины образца на лазерной абляции материалов [Текст] / И.В. Амирханов, И. Сархадов, З.К. Тухлиев, Х.Г. Гафуров // Тезисы докладов 51-й международной Тулиновской конференции по физике взаимодействия заряженных частиц с кристаллами (Москва 24 мая – 26 мая 2022) . - Москва,2022. - стр.42-43

[30-А] Gafurov Kh. - Using mode-locked laser for shaping many bit information [Text] / Kh. Gafurov // Academia Letters, Article 2321. https://doi.org/10.20935/AL2321.

[31-А] Гафуров Х. - Критерии существования стационарного режима пассивной синхронизации мод с насыщающимся усилением [Текст] / Х. Гафуров // Материалы Республиканской научно-практической конференции посвященной "Двадцатилетию изучения и развития естественных , точных и математических наук в сфере науки и образования" на тему " Современные проблемы физики конденсированного состояния и ядерной физика" г.Душанбе, 19 февраля 2020 года. - Душанбе,2020. - С. 43-45.

[32-А] Гафуров Х. - Сокращение длительности импульсов за счёт разницы в условиях насыщения [Текст] / Х. Гафуров // Материалы Республиканской научно-практической конференции посвященной "Двадцатилетию изучения и развития естественных , точных и математических наук в сфере науки и образования" на тему " Современные проблемы физики конденсированного состояния и ядерной физика" г.Душанбе, 19 февраля 2020 года. - Душанбе, 2020. - С. 27-29.

[33-А] Гафуров Х. - Расчет области существования пассивной синхронизации мод при протяженных активных и пассивных средах [Текст] / Х. Гафуров // Материалы Республиканской научно-практической конференции посвященной "Двадцатилетию изучения и развития

естественных , точных и математических наук в сфере науки и образования" на тему " Современные проблемы физики конденсированного состояния и ядерной физика" г.Душанбе, 19 февраля 2020 года.- Душанбе,2020. - стр. 160-163.

[34-A] Ghafurov H. Using mode-locked laser for shaping many bit information // Poster presentation ID: JW2A.39. Joint Poster Session Wednesday. October 2, 2019 from 10:00 AM to 11:30 AM. OSA Laser Congress and Exibition. Austria Center Vienna, Vienna, Austria.

[35-A] Ghafurov H. Laser ablation in solid states with pulse of complex structure // Poster presentation ID: JW2A.41. Joint Poster Session Wednesday. October 2, 2019 from 10:00 AM to 11:30 AM. OSA Laser Congress and Exibition. Vienna, Austria.

[36-A] Гафуров Х. Об одном способе формирования многобитной информации в лазерах с пассивной синхронизацией мод [Текст] / Х. Гафуров Б.И. Назаров, С.Ф. Абдуллаев, М.Н. Рахматов // Материалы международной конференции "Актуальные проблемы современной физики" посвященной 80 - летию памяти Заслуженного деятеля науки и техники Таджикистана, доктора физико - математических наук, профессора Нарзиева Бозора Нарзиевича, 18 апреля 2018 года. - Душанбе,2018. - стр. 283-285.

[37-A] Гафуров Х. - Спектральный анализ периодических импульсов сложной структуры [Текст] / Х. Гафуров // Материалы международной конференции "Актуальные проблемы современной физики" посвященной 80 - летию памяти Заслуженного деятеля науки и техники Таджикистана, доктора физико-математических наук, профессора Нарзиева Бозора Нарзиевича, 18 апреля 2018 года. - Душанбе,2018. - стр.203-208.

ВАЗОРАТИ МАОРИФ ВА ИЛМИ ҶУМҲУРИИ ТАҶИКИСТОН
МУАССИСАИ ДАВЛАТИИ ТАЪЛИМИИ «ДОНИШГОҲИ
ДАВЛАТИИ ХУҶАНД БА НОМИ АКАДЕМИК БОБОҶОН ҒАФУРОВ»

Бо ҳуқуқи дастнавис

УДК 535.374:621.375.826

МУРОДӢ ҲАЛИМҶОН ҒАФУРЗОДА

АСОСҲОИ ФИЗИКИИ ИДОРАКУНИИ ТАВСИФҲОИ ВАҚТИИ ЛАЗЕРҲОИ БЕФОСИЛА БО ФУРӮБАРАНДАИ СЕРШАВАНДА АНДАРУНИ РЕЗОНАТОР

Автореферати
рисола барои дарёфти дараҷаи илмии доктори илмҳои физикаю математика аз рӯйи ихтисоси 01.04.07 —
Физикаи ҳолатҳои конденсӣ

Душанбе – 2024

Диссертатсия дар кафедраи физикаи умумӣ ва ҷисмҳои сахти МДТ «Донишоҳи давлатии Хуҷанд ба номи академик Бобоҷон Ғафуров» иҷро шудааст

Мушовири илмӣ: **Тошхӯҷаев Ҳаким Азимович**
доктори илмҳои физикаю математика,
дотсенти кафедраи электроника,
МДТ «Донишгоҳи давлатии Хуҷанд ба номи академик Бобоҷон Ғафуров».

Муқарризони расмӣ: **Солиҳзода Давлат Куват -** доктори илмҳои физикаю математика,
профессори кафедраи назарияи физика,
факултети физика Донишгоҳи миллии Тоҷикистон.
Мышкин Вячеслав Фёдорович - доктори илмҳои физикаю математика, профессори шӯъбаи сикли ҳастаи - сузишворӣ дар Донишгоҳи политехникии Томск, Федератсия Россия;
Расулов Рустам Явкачович - доктори илмҳои физикаю математика,
профессори кафедраи физика,
факултети физика-математика,
Донишгоҳи давлатии Фарғона,
Ҷумҳурии Ӯзбекистон;

Муассисаи пешбар: **Институти технологияҳои ионӣ-плазмавӣ ва лазерӣ ба номи У.А. Орифов АИ Ҷумҳурии Ӯзбекистон.**

Ҳимояи рисола санаи « 11 » марти соли 2025, соати 14:00 дар ҷаласаи Шӯрои Диссертатсионии 6D.KOA-056 назди Донишгоҳи миллии Тоҷикистон бо суроғаи 734027, Ҷумҳурии Тоҷикистон, ш. Душанбе, маҳаллаи Буни Ҳисорак, бинои таълимии №16, факултети физика, толори Шӯрои илмӣ баргузор мегардад.

Бо мӯҳтавои диссертатсия тавассути сомонаи www.tnu.tj ва китобхонаи марказии илмии Донишгоҳи миллии Тоҷикистон, дар суроғаи 734025, ш. Душанбе, хиёбони Рӯдакӣ, 17 шинос шудан мумкин аст.

Автореферат санаи «_____» _____ соли 2025 ирсол карда шуд.

Котиби илмии
Шӯрои диссертатсионии 6D.KOA-056
н. и. ф. м., дотсент Исломов З.З.

Муқаддима

Мубрамияти мавзуи таҳқиқ. Фурӯбарандаи сершаванда, андаруни резонатори лазери бефосила амалкунанда, тавлиди пай дар паии бефосилаи импулсҳои фавқулкӯтоҳи рӯшноиро таъмин менамояд. Чунин реҷаи кори лазер синхронизатсияи модҳои тӯлӣ номида мешавад. Туфайли таҳқиқи равандҳои физикии синхронизатсияи фаъол, нофаъол ва омехтаи модҳои тӯлии лазерҳои бефосила, ҳудуди ниҳоии мантиқӣ дар фишурдани давомияти импулсҳои рӯшноӣ то 3,8 фс ба даст оварда шуд, ки он ба як даври лапиш дар дарозии мавҷи 800 нм наздик мебошад [1]. Аз сабаби он, ки омӯзиши равандҳои тез ҷоришаванда [2] пайдо кардани манбаҳои боз ҳам кӯтоҳтари майдони электромагнитиро, тавассути тавлиди гармоникаҳои тартиби баланд [3], талаб мекунад, масъалаи расидан ба тавсифҳои ниҳоии вақтӣ ва энергетикии импулсҳои лазерии минбаъд фишурда шаванда аҳамияти муҳими амалӣ дорад.

Корҳои назариявии муаллифон [4-6] дар фаҳмиши равандҳои физикии ташаккули импулсҳои фавқулкӯтоҳи рӯшноӣ дар лазерҳои бефосила бо фурӯбарандаи сершаванда андаруни резонатор аҳамияти асосӣ доранд. Аммо дар ин корҳо таъсири як қатор тавсифҳои муҳим, ба монанди геометрияи резонатор, мавқеи фурӯбаранда, сохтори мураккаби вақтии рӯшноӣ, вақте ки дар як давр на як, балки якчанд импулсҳо мавҷуданд, пешбинӣ нашудааст. Ҳамаи параметрҳои номбаршуда ба равандҳои сершавӣ таъсири бевосита доранд. Таҳқиқоти таҷрибавии таъсири фарқият, дар шароити сершавии унсури тақвиятдиҳанда ва фурӯбаранда, аввал роҳи расидан ба импулсҳои кӯтоҳи рӯшноиро нишон медиҳад ва дуюм барои таҳияи меъёрҳои интихоби реҷаи кори ҳам унсурҳои алоҳида ва ҳам худи лазер дар маҷмӯъ замина фароҳам меорад.

Бояд қайд кард, ки меъёри асосии ба даст овардани импулсҳои фавқулкӯтоҳи рӯшноӣ таъмини устувории баланди энергетикии тавлиди лазер мебошад, ки асосан бо равандҳои сершавӣ ва пеш аз ҳама фурӯбарандаи сершаванда ба даст оварда мешавад.

Аз тарафи дигар, васеъ кардани самтҳои истифодаи амалии импулсҳои фавқулкӯтоҳ, пеш аз ҳама дар соҳаҳои коркарди иттилоот ва телекоммуникатсия, сохтани лазерҳоро дар ҳудудии нави дарозии мавҷҳо талаб мекунад, ки дар он унсурҳои нави фурӯбаранда, аз ҷумла дар асоси нуқтаҳои квантӣ, лозим аст.

Ҳамин тариқ, таҳқиқотҳои марбут ба оптимизатсия ва таҳияи меъерҳои интихоби фурӯбарандаҳои сершумор андаруни резонатори лазерҳои бефосила ва таъмини амали самараноки он хеле мубрам мебошад.

Дараҷаи омӯхташудаи муаммои илмӣ, асосҳои назаравию методологии зинаҳои таҳқиқот. Комёбиҳоиҳои ба даст овардашударо таҳия карда, се марҳилаи муҳимро дар самти таҳқиқоти ҳосил кардани импулсҳои кӯтоҳи шуои лазерӣ қайд кардан мумкин аст.

Марҳилаи аввал ба давомнокии пикосекундии импулсҳо дар асоси лазерҳо бо маҳлулҳои рангкунанда - 10^{-12} сония мувофиқат мекунад.

Марҳилаи дуюм ин ба даст овардани давомнокии фемтосекундии

импулсҳо дар асоси лазерҳои титан - сапфир $4,5*10^{-15}$ сония мебошад.

Марҳилаи сеюм ин ба даст овардани давомнокии аттосекундии импулсҳои рӯшноӣ бо тавлиди гармоникаҳои дараҷаи баланд $100*10^{-18}$ сония мебошад.

Таҳқиқоти тавлиди гармоникаҳои баланд дар плазмаи лазерӣ, бо истифодаи импулси пуркуввати лазерӣ дар дарозии мавҷи 800 нм ва шуои рӯшноии суст дар 400 нм, дар муҳити гази Ag, Ag_2S, аз тарафи муаллифони [7] гузаронида шудааст. Самаранокии калони тавлиди гармоникаҳои баланд, ҳангоми ҳосил шудани плазма дар муҳити газӣ муқаррар карда шудааст. Назариявӣ, ҳадди ниҳоии давомнокии импулсҳои рӯшноӣ, бо ёрии тавлиди гармоникаҳои баланд, бо давомнокии импулси лазери ангезишии истифодашаванда маҳдуд карда мешавад, ки барои расидан ба ҳудуди аттосония бояд якчанд фемтосония бошад [8]. Дар робита ба ин, таҳқиқоти комилан нави муаллифон [9-11] барои ноил шудан ба коҳиши самараноки давомнокии импулсҳои манбаъҳои лазерӣ бо синхронизатсияи модҳо ва пеш аз ҳама истифодаи фурӯбарандаи сершаванда андаруни резонатор равона карда шуд. Хусусан, қайд кардан лозим аст, ки ҷустуҷӯи фурӯбарандаи зарурӣ, барои лазери додашуда, бе истифодаи қонуниятҳои муқарраршудаи баланд бардоштани самаранокии амали онҳо ба натиҷаҳои ниҳоӣ ба таври кофӣ содда анҷом дода мешавад. Дар ин замина, таҳқиқоти таҷрибавии муаллифони [12], ки асоснокии назариявиро дар кори [13] ба даст овардаанд, барои ҳалли амалии масъалаи интихоби таъсири самараноки фурӯбарандаи сершаванда дар лазерҳои бефосила аҳамияти муҳим доранд.

Таҳқиқотҳо оид ба таъсири фурӯбарандаи сершаванда ба реҷаи синхронизатсияи модҳои лазерӣ муқаррар намуданд:

- мавҷудияти минтақаи мавҷудияти синхронизатсияи модҳои тӯлӣ вобаста ба бузургии тақвият ва фурӯбарии сернашуда;
- имконияти тавлиди импулсҳои рӯшноӣ бо давомнокии камтар аз вақти барқарорсозии фурӯбарандаи сершаванда дар лазерҳои бефосила;
- маҳдудияти давомнокии ҳадди ақали импулсҳои рӯшноӣ аз паҳнои хати нурафканиии лазерӣ;
- фишурдани давомнокии импулсҳои рӯшноӣ дар муҳитҳо бо тақвият ва фурӯбарандаи ғайрихаттӣ;
- тавлиди импулсҳои шуои хеле кӯтоҳ дар лазерҳои бефосила бо резонатори ҳалқавӣ ва фурӯбарандаи сершаванда андаруни резонатор;
- гузариши шуои лазерӣ, бо синхронизатсияи нофаъоли модҳо, ба сохтори мураккаби вақтӣ дар тавоногии баланд;
- вобастагии сохтори вақтии шуои лазерӣ, бо синхронизатсияи нофаъоли модҳо, аз мавқеъи ҷойгиршавии фурӯбарандаи сершаванда.

Аммо ин натиҷаҳо ҷанбаҳои зерини равандҳои синхронизатсияи модҳои тӯлиро шарҳ надоданд:

- механизми пайдоиш ва устувории баланди сохтори мураккаби вақтии шуои лазер ҳангоми синхронизатсияи нофаъоли модҳо;

- нақши тавсифҳои энергетикии шуоии лазерӣ ва қисмҳои таркибии он дар раванди ташаккули сохтори мураккаби вақтӣ;

- нақши тавсифҳои энергетикӣ ба раванди фишурдани максималии давомнокии импулсҳои рӯшноӣ аз ҳисоби фурӯбарандаи ғайрихаттӣ;

- интихоби фурӯбарандаи сершаванда ва реҷаи сершавӣ барои ҳолати барқароршавии суст нисбат бо давомнокии импулси рӯшноӣ;

- алоқаи байни хусусиятҳои вақтӣ ва спектрии шуои лазер дар сарҳади гузариш ба сохторҳои мураккаби вақтии афканишот;

- механизми устувории баланди реҷаи тавлиди лазерӣ бо синхронизатсияи модҳо дар ҳудуди манфии тафовути дарозии резонаторҳо;

- механизми фишурдани иттилоот бо ёрии лазерҳое ки дар реҷаи синхронизатсияи модҳои тӯлӣ кор мекунанд;

- имконияти истифодаи пайдарпаии даврии импулсҳои сохтори мураккаби вақт барои корҳои амалӣ;

- меъёри интихоб ва амали самараноки фурӯбарандаи сершаванда андаруни резонатори лазери бефосила, ки дар реҷаи синхронизатсияи фаъоли модҳо кор мекунад.

Алоқамандии мавзуи таҳқиқ бо лоиҳаҳо ва мавзуъҳои илмӣ. Кор дар доираи татбиқи нақшаҳои дурнамои корҳои илмӣ-таҳқиқотии кафедраи физикаи умумӣ ва ҷисмҳои сахти донишгоҳи давлатии Хуҷанд ба номи академик Бобоҷон Ғафуров солҳои 2021-2025 дар мавзӯи "Омӯзиши хосиятҳои физикию химиявии маводи композитӣ ва унсурҳои вазнин дар хок ва аэрозол", оид ба татбиқи Қарори Ҳукумати Ҷумҳурии Тоҷикистон № 427 аз 30 июли соли 2020 тасдиқ шудааст, ки тибқи он солҳои 2020-2040 "Бистсолагии омӯзиш ва рушди илмҳои табиӣ, дақиқ ва риёзӣ дар соҳаи илм ва маориф" эълон гардидааст иҷро карда шудааст.

ТАВСИФИ УМУМИИ ТАҲҚИҚ

Мақсади таҳқиқ. Мақсади асосии кори диссертатсионӣ аз таҳқиқи равандҳои физикии ба даст овардани самаранокии баланди реҷаи тавлиди импулсҳои фавқулкӯтоҳи рӯшноӣ бо истифодаи фурӯбарандаи сершаванда андаруни резонатори лазерҳои бефосила, ҳангоми синхронизатсияи нофаъол ва фаъоли модҳои тӯлӣ иборат аст.

Вазифаҳои таҳқиқ. Барои ноил шудан ба ҳадафи гузошташуда бояд масъалаҳои зерин ҳал карда шаванд:

1. Гузаронидани таҳқиқи минтақаи мавҷудияти реҷаи синхронизатсияи модҳои тӯлии лазери бефосилаи аргон бо фурӯбарандаи сершаванда андаруни резонатор тавассути интихоби миқдори талафоти хаттӣ, фурӯбарӣ ва тақвият.
2. Муайян кардани қонуниятҳои таъсири мавқеъи ҷойгиршавии қисмҳои тақвиятдиҳанда ва фурӯбаранда, инчунин тавсифҳои геометрии резонатор ба устуворӣ, хусусиятҳои вақтӣ ва энергетикии шуои лазери аргон.

3. Муқаррар кардани меъёри интихоби фурӯбарандаи сершаванда аз рӯйи бузургии оптикии гузариш дар дарозии мавҷи тавлиди лазери маҳлули рангкунандаи Rh6G.

4. Муайян кардани таносуби байни хусусиятҳои вақтӣ ва спектрӣ барои ноил шудан ба устувории баланди реҷаи синхронизатсияи нофаъли модҳои тӯлӣ.

5. Муқаррар кардани табиати сохтори мураккаби вақтии шуои лазер дар реҷаи синхронизатсияи нофаъоли модҳои тӯлӣ ва хусусияти таъсири онҳо ҳангоми истифодаи амалӣ.

Объекти таҳқиқ. Объектҳои асосӣ равандҳои ташаккули импулсҳои рӯшноӣ дар лазерҳои бефосила ҳангоми синхронизатсияи нофаъол ва омехтаи модҳои тӯлии он мебошанд, ки андаруни резонатори он фурӯбарандаи сершаванда ҷойгир карда мешавад.

Мавзуи таҳқиқ. Дар кор тавсифҳои вақтӣ ва энергетикии реҷаи синхронизатсияи модҳои тӯлии лазерҳои бефосила, дар мисоли лазери иони аргон ва лазер дар асоси маҳлули рангкунандаи родамин 6Ж, бо фурӯбарандаи сершаванда андаруни резонатор таҳқиқ карда мешаванд.

Асосҳои назариявии таҳқиқ. Дар асоси коркардҳои илмӣ моделҳои назариявии синхронизатсияи нофаъол ва фаъоли модҳо дар лазерҳои бефосила, равандҳои ҳамтаъсироти импулсҳои пуриқтидори рӯшноӣ бо муҳити тақвиятдиҳанда ва фурӯбаранда, дар шароити барқароршавии сусти тақвият ва фурӯбарӣ, интерференсияи лапишҳои гармонӣ ва ташаккули бастаи мавҷ дар асоси мавҷҳои истон дар резонатори лазер истифода мешаванд.

Навгонии илмии таҳқиқ. Навоварии илмии таҳқиқоти гузаронидашуда ва натиҷаҳои бадастомада аз инҳо иборат аст:

1. Таҷрибавӣ вобастагии хусусиятҳои вақтӣ, энергетикӣ ва устувории шуои лазер, ки дар реҷаи синхронизатсияи нофаъоли статсионарии модҳо аз фарқияти шароити сершавии муҳити тақвиятдиҳанда ва фурӯбаранда, ки ҳамчун параметри S таносуби баробари энергияи сершавии тақвиятдиҳанда ба энергияи сершавии фурӯбаранда муайян карда мешавад, ба даст оварда шудааст. Параметри S, ин бузургии бе андоза аст, ки то чӣ андоза сершавии фурӯбаранда нисбат ба тақвиятдиҳанда, дар доираи импулсҳои ташаккулёфта, зудтар ба амал меояд, ифода мекунад.

2. Мавҷудияти ҳадди реҷаи синхронизатсияи нофаъоли модҳо аз рӯйи параметри S ошкор карда шуд ва шарти $S > S_{min}$ ҳамчун меъёри интихоби фурӯбарандаи сершаванда, аз рӯйи хусусиятҳои спектрӣ барои муҳити тақвиятдиҳандаи лазери додашуда ($\sigma_п/\sigma_у > 1$) ҳангоми синхронизатсияи омехтаи модҳо муқаррар карда шудааст.

3. Таҷрибавӣ имконияти мавҷудияти импулсҳои қутоҳи афканишоти лазери маҳлули рангкунанда, дар реҷаи синхронизатсияи омехтаи модҳо, дар ҳудуди тафовути манфии дарозии резонаторҳои лазери маҳлули рангкунанда ва лазери ангезиш нишон дода шудааст.

4. Вобастагии боэътимоди хусусиятҳои спектрӣ ва вақтии сохтори мураккаби вақтии шуои лазер дар реҷаи синхронизатсияи якчанд гурӯҳҳои модҳои тӯлӣ муайян карда шудааст.

5. Ҳисоби рақамии таъсири импулсҳои сохтори мураккаб ҳангоми ҳодисаи аблятсия гузаронида шудааст, ки дар он ҷо тағйироти иловагии сарҳади поёнӣ аз ҳисоби амали импулси дуюм ба амал меояд.

6. Усули нави ташаккули маълумоти бисёрбита аз ҳисоби реҷаи синхронизатсияи модҳои тӯлии лазерҳои бефосила пешниҳод карда шудааст.

Нуктаҳои ба ҳимоя пешниҳодшаванда.

1. Барои синхронизатсияи нофаъоли модҳо, дар ҳолате, ки давомнокии импулс - $\tau_р$ аз вақти барқароршавии фурӯбарӣ - $T_п$ ва тақвият – $T_у$ хеле хурд аст, зичии ҳаддии энергияи шуои рӯшноӣ дар фурӯбаранда - $\varepsilon_п^{пр}$ ва тақвиятдиҳанда - $\varepsilon_у^{пр}$ параметри муҳимтарин мебошад. Муайян карда шудааст, ки бузургиҳои $\varepsilon_п^{пр}$ ва $\varepsilon_у^{пр}$ аз фарқияти шароити сершавии тақвият ва фурӯбарӣ бо параметри S ифода шаванда, аз бузургиҳои фурӯбарии сернашуда - $K_о$, тақвияти сернашуда - $G_о$, вақти барқароршавии муҳити тақвиятдиҳанда ва фурӯбаранда вобастагии функционалӣ доранд.

2. Мавҷудияти ҳадди реҷаи синхронизатсияи нофаъоли модҳо аз рӯйи параметри S, ки бояд аз S_{min} калонтар бошад, ва меъёри интихоби фурӯбрандаи сершаванда аз хусусиятҳои спектрӣ ($\sigma_п/\sigma_у>1$) ё оптимизатсияи геометрияи резонатор $\alpha\frac{A_у}{A_п}\geq 1$ барои лазерҳое, ки дар реҷаи синхронизатсияи нофаъол ва омехтаи модҳо кор мекунанд, муқаррар карда шудааст. Барои ҳолати лазери аргон бо синхронизатсияи нофаъоли модҳо бо ёрии фурӯгири газӣ мавҷудияти бузургии оптималии параметри $S > S_{opt}$ нишон дода шудааст.

3. Ҳангоми синхронизатсияи модҳои лазери бефосила, дар асоси маҳлули рангкунанда, истифодаи фурӯбарандаи сершаванда, ки барои он шарти $\frac{\sigma_п}{\sigma_у}>1$ иҷро шудааст, ба кӯтоҳшавии иловагии давомнокии импулсҳои шуои тавлидшаванда, баланд бардоштани устувории реҷаи тавлиди лазер ва имконияти тавлиди импулсҳои шуои давомнокии фавқулкӯтоҳ дар ҳудуди тафовути манфии дарозии резонаторҳои лазер дар асоси маҳлули рангкунанда ва лазери ангезиш оварда мерасонад.

4. Дар ҳолати таъмини нурафкании фурӯбарандаи сершаванда устуворӣ ва хусусиятҳои энергетикии лазер бо синхронизатсияи модҳои тӯлии он баланд шуда, онро барои фишурдани иттилоот дар шакли импулси рӯшноӣ истифода бурдан мумкин аст, ки давомнокии он ба шумораи модҳои тӯлии синхронизатсияшудаи лазер мутаносиби баръакс мебошад.

5. Сохтори мураккаби вақтии импулсҳои шуои рӯшноӣ - сателлитҳо, ки дар ҳудуди энергияи баланди афканишоти лазер бо синхронизатсияи модҳо ташаккул меёбанд, имкон медиҳад, ки

самаранокии таъсир ҳангоми аблятсияи ҷисмҳои сахт баланд бардошта шавад.

Аҳамияти назариявии таҳқиқ аз такмил додани моделҳои математикии лазерҳои бефосила дар реҷаи тавлиди импулсҳои шуои фавқулкӯтоҳ бо мақсади баланд бардоштани самаранокии равандҳои сершавӣ дар расидан ба параметрҳои ҳаддии энергетикӣ ва вақтӣ иборат аст.

1. Коррелятсияи яктарафаи реҷаи вақтӣ, спектрӣ ва устувории реҷаи тавлиди лазер бо синхронизатсияи модҳо дар сурати ташаккули импулсҳои сателлитҳо нишон дода шудааст.
2. Бори нахуст имконияти дар як вақт синхронизатсияи якчанд гурӯҳи модҳои тӯлӣ асоснок карда шуд.
3. Усули ташаккули импулсҳои рӯшноӣ, ҳамчун интиқолдиҳандаи иттилоот аз ҳисоби фурӯбарандаи сершаванда андаруни резонатори лазер бо синхронизатсияи модҳо пешниҳод карда шудааст, ки дорои хосияти беназир аст ва фосилаи камтари вақтро бо ҳаҷми зиёди иттилооти ҷойгиршуда дар ҳар як импулси рӯшноӣ ишғол менамояд.
4. Тавассути ҳисобҳои рақамӣ, имконияти баланд бардоштани самаранокии энергетикии таъсири импулси шуои сохтори мураккаби вақтӣ, ки одатан дар соҳаи нишондиҳандаҳои баланди энергетикии лазерҳо бо модҳои синхронизатсия ташаккул меёбанд, барои раванди аблятсия муайян карда шудааст.

Аҳамияти амалии таҳқиқ аз натиҷаҳои нави илмии муаллиф иборат аст, ки дар он пешниҳодҳои конструктивӣ оид ба таҳия ва сохтани манбаъҳои нави импулсҳои электромагнитии фавқулкӯтоҳ, баланд бардоштани самаранокии раванди аблятсияи лазерӣ, инчунин усулҳои фишурдани иттилоот мавҷуданд.

1. Муайян карда шудааст, ки барои лазерҳои бефосила бо фурӯбарандаи сершаванда, ба ғайр аз шартҳои ҳаддии тавлид, шартҳои сарҳади поёнӣ ва болоии минтақаи мавҷудияти синхронизатсияи модҳои тӯлӣ мавҷуданд.
2. Бори аввал мавҷудияти гистерезис дар наздикии ҳадди тавлиди лазер бо фурӯбарандаи сершаванда андаруни резонатор, инчунин дар наздикии сарҳади болоии минтақаи мавҷудияти реҷаи синхронизатсияи модҳои тӯлӣ, ки устувории баланди реҷаи тавлиди лазерро нишон медиҳад, муайян карда шуд.
3. Дар натиҷаи таҳқиқоти таҷрибавӣ имконияти беҳтар кардани хусусиятҳои вақтӣ, энергетикӣ ва устувории шуоъафкании лазери бефосилаи Ar+ бо синхронизатсияи нофаъоли модҳо, тавассути фарқияти шароити сершавии тақвият ва фурӯбарӣ, ки бо интихоби геометрияи резонатор ва ҷойгиршавии унсурҳои фаъол ба даст оварда мешавад, нишон дода шудааст.
4. Конструксияи фурӯбарандаи газӣ барои синхронизатсияи нофаъоли модҳои лазери аргон, аз рӯйи таҳқиқоти таҷрибавии вобастагии

радиалии андозаи фурӯбарии сернашуда дар найчаҳои диаметри мухталифи канали разрядӣ таҳия шудааст.

5. Таҷрибавӣ, мавҷудияти меъёри интихоби фурӯбарандаи сершавандаи оптималӣ аз рӯйи хусусиятҳои спектрӣ барои синхронизатсияи модҳои лазери мушаххас интихобшуда тасдиқ карда шудааст. Маҳлули рангкунандаи «малахити сабз», ки бо ин роҳ интихоб шудааст, ҳангоми синхронизатсияи омехтаи модҳои лазер дар асоси маҳлули рангкунандаи Rh6G, барои ду баробар кам кардани (то 0,7±0,2 пс) давомнокии импулсҳои шуои тавлидшаванда имкон дод.

6. Муайян карда шудааст, ки мувофиқати дақиқи дарозии резонаторҳои лазер дар асоси маҳлули рангкунанда ва лазери ангезиш дар реҷаи синхронизатсияи омехтаи модҳо муҳим нест, ки ба баланд бардоштани устувории хусусиятҳои афканишоти лазер дар чунин реҷаи корӣ оварда мерасонад.

7. Ҳисобҳои рақамӣ, аз рӯйи модели назариявии лазер дар асоси маҳлули рангкунанда, ҳангоми синхронизатсияи фаъоли модҳо бо илова кардани фурӯбарандаи сершаванда, бо назардошти фарқияти шароити сершавӣ, натиҷаҳои таҷрибавиро оид ба синхронизатсияи омехтаи модҳои родамин 6Ж ,бо ёрии рангкунандаи «малахити сабз» , сифатан пурра тасдиқ намуданд.

Мутобиқати диссертатсия ба шиносномаи ихтисоси илмӣ.

Кори диссертатсионӣ аз рӯйи ихтисоси 01.04.07 - Физикаи ҳолати конденсӣ иҷро карда шудааст. Он ба қисми таркибии ин ихтисос электроникаи квантӣ тааллуқ дошта ба формулаи ихтисос ва банди « таҳия ва таҳқиқи хусусиятҳои асбобҳо ва дастгоҳҳо (мазерҳо, лазерҳо, табдилдиҳандаҳои шуои рӯшноӣ ва ғайра), ки ба тақвият, тавлид ва табдил додани шуои рӯшноӣ, идоракунии хусусиятҳои он имкон медиҳанд», комилан мувофиқат мекунад.

Дараҷаи эътимоднокии натиҷаҳо. Эътимоднокии натиҷаҳо бо маълумоти таҷрибавии ченкуниҳои гузаронидашуда таъмин карда мешавад, ки ҳангоми ҳисобҳои рақамӣ, дар асоси моделҳои назариявии мавҷуда ва якҷоя таҳияшаванда, инчунин натиҷаҳои таҳқиқоти олимони дигар тасдиқ карда мешаванд. Моделсозии раванди аблятсия ва натиҷаҳои ҳисобҳои ададии гузаронидашуда, равандҳои ҳароратиро ҳангоми таъсири импулси шуои сохтори мураккаби вақт ба маводи интихобшуда ба таври кофӣ инъикос мекунанд. Бояд махсус қайд кард, ки сарфи назар аз амплитудаи хурдтар, самаранокии кӯчонидани сарҳади бухоршавӣ бо импулси иловагии дуюми шуои лазерӣ назаррас мебошад.

Саҳми шахсии довталаби дараҷаи илмӣ. Масъалаҳои таҳқиқот бо иштироки мушовири илмӣ, ки кӯмаки машваратӣ мерасонд, таҳия карда шудаанд. Ҳамаи натиҷаҳои кори диссертатсионӣ, ки дар бахши "Навгонии илмии таҳқиқот" инъикос ёфтаанд, шахсан аз ҷониби муаллиф ба даст оварда шудаанд.

Тасвиб ва амалисозии натиҷаҳои диссертатсия. Натиҷаҳои дар диссертатсия бадастовардаи муаллиф дар конференсияҳои илмии зерин муаррифӣ ва муҳокима гардиданд: Конфронси байналмилалии "Муаммоҳои мубрами физикаи муосир" бахшида ба 80 – солагии хотираи корманди Шоистаи илм ва техникаи Тоҷикистон, доктори илмҳои физика ва математика, профессор Нарзиев Бозор Нарзиевич, 18 апрели Соли 2018, Шаҳри Душанбе; Конгреси байналмилалии «Osa Laser Congress and Exibition» Австрия , Вена. Муаррифии маърӯза ID: JW2A.39. Октябр 2, 2019; Конфронси илмӣ-амалии ҷумҳуриявӣ бахшида ба "Бистсолагии омӯзиш ва рушди илмҳои табии , дақиқ ва риёзӣ дар соҳаи илму маориф" дар мавзӯи "Муаммоҳои муосири физикаи ҳолати конденсӣ ва физикаи ҳастаӣ" шаҳри Душанбе, 19 феврали соли 2020; Муҳокимаи маҷозии маърӯза дар «Academia Letters», мақолаи 2321. дар сурогаи https://doi.org/10.20935/AL2321; Конференсияи умумирусиягӣ бо иштироки байналмилалӣ технологияҳои иттилоотӣ - телекоммуникатсионӣ ва моделиронии математикии системаҳои баландтехнологӣ , ш. Москва, РУДН, 18-22 апрели соли 2022; Конференсияи 51-уми байналмилалии Тулинов оид ба физикаи таъсири мутақобилаи заррахои заряднок бо кристаллҳо (Москва 24 -26 майи 2022); Конференсияи ҷумҳуриявии илмӣ – амалӣй бахшидаӣ ба « Бистсолаи омӯзиш ва рушди фанҳои табиатшиносӣ, дақ ва риезӣ дар сохаи илму маориф» ва солҳои рушди саноат эълон гардидани солҳои 2022-2026 «Рисолати илми физика дар инкишофи техника ва технологияи муосир» 16-17 уми марти соли 2023; ДДХ ба номи академик Б. Ғафуров, ш. Хуҷанд; Конфронси илмӣ-амалии ҷумҳуриявӣ "Рушд ва дастовардҳои илми физика дар солҳои истиқлолият" бахшида ба 32-солагии истиқлолияти Давлатии Ҷумҳурии Тоҷикистон (25-26 августи соли 2023). ш. Душанбе; Конференсияи ҷумҳуриявии илмӣ-амалии "Саҳми олимони фанҳои дақиқ дар рушди саноатикунонии кишвар" бахшида ба "Бистсолаи омӯзиш ва рушди фанҳои табиатшиносӣ, дақиқ ва риёзӣ дар соҳаи илму маориф" ва 85-солагии аъзо-корреспонденти Академияи муҳандисии Ҷумҳурии Тоҷикистон ва Россия, профессор Рабеҷонов Набиҷон ва профессор Латипов Ҷалол Латипович. Хуҷанд, (18-уми октябри соли 2023) ; Конференсияи илмӣ-амалии Ҷумҳуриявӣ "Муаммоҳои муосири физикаи ҳолатҳои конденсӣ" бахшида ба 75-солагии таъсиси донишгоҳи миллии Тоҷикистон, соли байналмилалии ҳифзи пиряхҳо ва 80-солагии доктори илмҳои физика ва математика, профессор Туйчиев Шарофидин (24-25 октябри соли 2023) ш. Душанбе; Конференсияи донишгоҳи Фарғона, Ҷумҳурии Ӯзбекистон, ш. Фарғона 2 декабри соли 2023, https://conf.fdu.uz/index.php/conf/article/view/2308; Конференсияи илмӣ-амалии Ҷумҳуриявӣ бо иштироки олимони хориҷӣ "Муаммоҳо ва дурнамои оптика ва физикаи лазерӣ" бахшида ба 80-солагии таъсиси Академияи илмҳои Ҷумҳурии Узбекистон, 26 октябри соли 2023, ш. Тошканд; Конференсияи илмӣ-амалии Ҷумҳуриявӣ "Рушд ва дастовардҳои илми физика дар солҳои истиқлолият" бахшида ба 32-солагии

истиқлолияти Давлатии Ҷумҳурии Тоҷикистон (25-26 августи соли 2023). ш. Душанбе; Семинарҳои илмии кафедра системаҳои иттилоотии автоматикунонидашуда дар донишгоҳи давлатии Ҳуқуқ, бизнес ва сиёсати Тоҷикистон, кафедраи физикаи умумӣ ва ҷисми сахти донишгоҳи давлатии Хуҷанд ба номи академик Бобоҷон Ғафуров, дар дарсҳои лексионӣ ва амалӣ оид ба оптика, нанотехнология, инчунин ҳангоми иҷрои корҳои илмӣ аз ҷониби донишҷӯён ва магистрантон.

Интишорот аз рӯйи мавзӯи диссертатсия. Натиҷаҳои асосии диссертатсия дар 37 кори илмӣ нашр шудаанд. Корҳои [2-А]-[20-а] дар маҷаллаҳо аз рӯйхати маҷаллаҳо ва нашрияҳои илмии тақризшаванда, ки аз ҷониби КОА назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон тавсия дода шудаанд, нашр шудаанд. Дар тезисҳо гузоришҳо ва маводҳои конфронсҳои байналмилалӣ ва ҷумҳуриявӣ 17 фишурдаи маърӯза нашр шудааст.

Сохтор ва ҳаҷми диссертатсия. Кор аз муқаддима, тавсифи умумии таҳқиқот, шаш боб, муҳокимаи натиҷаҳои бадастомада, хулосаҳо ва рӯйхати адабиет (318 номгӯ) иборат аст. Дар диссертатсия рақамгузории пурраи формулаҳо ва расмҳо истифода шудааст. Рақамгузорӣ шакли дукарата дошта, рақами аввал бо рақами боб мувофиқат мекунад ва рақами дуюм рақами тартибии расм ё формулаи боби додашударо нишон медиҳад. Ҳаҷми умумии диссертатсия 270 саҳифаи чопи компютериро ташкил медиҳад, ки 75 расм ва 4 ҷадвалро дар бар мегирад.

Калимаҳои калидӣ: лазер, тақвият, фурӯбарӣ, резонатор, модҳои тӯлӣ, синхронизатсия, импулси рӯшноӣ, давомнокӣ, давр, фаъол, нофаъол, сершавӣ, фишурдан, тавоноӣ, энергия.

МАЗМУНИ МУХТАСАРИ ДИССЕРТАТСИЯ

Дар муқаддима шарҳи мухтасари хронологии натиҷаҳои таҳқиқоти илмӣ оид ба масъалаи таҳқиқот дода шуда, мубрамияти мавзӯъ асоснок карда мешавад.

Боби якуми кори диссертатсионӣ аз панҷ бахш иборат аст. Бахши аввал ба баррасии корҳои назариявӣ ва таҷрибавии тавлиди импулсҳои фавқулкӯтоҳи рӯшноӣ ҳангоми реҷаи статсионарии синхронизатсияи модҳо дар лазерҳои бефосила бахшида шудааст. Ҳолати беназир дар он аст, ки давомнокии импулсҳои шуои тавлидшуда аз вақти барқароршавии ҳолати ҳам муҳити тақвиятдиҳанда ва ҳам фурӯбаранда хеле хурд аст. Дар бахши дуюм муносибати вақтӣ ва спектрӣ ба назарияи синхронизатсияи модҳои тӯлии лазери бефосила таҳлил карда мешаванд. Синхронизатсияи модҳои тӯлӣ ва тавлиди афканишоти лазерро дар шакли импулсҳои кӯтоҳи рӯшноӣ метавон ҳамчун падидаи интерференсия баррасӣ кард, ки агар басомади ин модҳо эквидистантӣ бошанд ва фарқияти фазаҳо бо мурури

вақт тағйир наёбад, ба амал меояд. Барои лазере, ки андаруни резонатор фурӯбарандаи сершаванда дорад, дар як вақт барои ҳар як моди тӯлӣ таъсири наздик ва дуршавии басомад ба басомади марказии хаттӣ тақвият ва фурӯбарӣ, мувофиқан, амал мекунад. Азбаски раванди тавлиди импулсҳои хеле кӯтоҳи рӯшноӣ натиҷаи синхронизатсияи шумораи зиёди модҳои тӯлии лазери бефосила мебошад ва даври импулсҳо бо дарозии резонатор муайян карда мешавад, пас механизми таъмини "дастгирии" басомади маҳз бо ин бузургиҳо муайяншуда вуҷуд дорад. Мутаассифона, дар усули спектрӣ таъсири дигар параметрҳои муҳити тақвиятдиҳанда ва фурӯбаранда бар истиснои ҷойгиршавии онҳо баррасӣ карда нашудааст.

Муносибати вақтӣ ба падидаи синхронизатсияи модҳо ба имконияти ташаккули пайдарпаии даврии импулсҳои кӯтоҳи рӯшноӣ аз тағйирёбии тасодуфии ибтидоӣ дар афканишоти лазер асос ёфтааст. Ҳангоми истифодаи усули вақтӣ, раванди синхронизатсияи нофаъоли модҳо метавонад бо схемае моделиронида шавад, ки дар он сустшавии мавҷҳои рӯшноии амплитудаи хурд ва тақвияти интихобии мавҷҳои рӯшноии амплитудааш калон ба амал меояд.

Бахши сеюм ба муайян кардани шартҳои тавлиди импулсҳои рӯшноӣ бахшида шудааст, ки давомнокии онҳо аз вақти барқароршавии ҳам муҳити тақвиятдиҳанда ва ҳам фурӯбаранда хеле камтар аст. Дар ин ҳолат, барои ташаккули пайдарпаии пайвастаи импулсҳои кӯтоҳи рӯшноӣ дар лазерҳо бо синхронизатсияи пассивӣ модҳо, се шарти ҳаддӣ муайян карда шудааст.

Шарти аввал талаб мекунад, ки дар шароити сершавии муҳити тақвиятдиҳанда ва фурӯбаранда фарқияти муайян мавҷуд бошад ва бо параметри S мувофиқи формулаи зерин муайян карда мешавад

$$S \equiv \frac{E_{\text{у}}}{E_{\text{п}}} = \alpha \frac{\sigma_{\text{п}}}{\sigma_{\text{у}}} \frac{A_{\text{у}}}{A_{\text{п}}} \geq S_{min} = \frac{1+q_0}{q_0} \quad , \qquad (1)$$

дар ин ҷо $E_{\text{у}}$ ва $E_{\text{п}}$ – энергияи сершавии тақвиятдиҳанда ва фурӯбаранда мувофиқан, $\sigma_{\text{п}}$ ва $\sigma_{\text{у}}$ – бурришҳои оптикии гузаришҳо дар тақвиятдиҳанда ва фурӯбаранда, $A_{\text{у}}$ ва $A_{\text{п}}$ – масоҳати геометрии дастаи рӯшноӣ дар муҳитҳои тақвиятдиҳанда ва фурӯбаранда, q_0 – қимати фурӯбарии сернашуда (барои ҳолати майдони суст) буда ба талафотҳои хатии резонатор нормиронида шудааст. Бо назардошти он, ки $S_{min} > 1$ аст, шарти (1) сершавии фурӯбарандаро бо энергияи камтар нисбат ба тақвиятдиҳанда ифода мекунад.

Шарти дуюм манфӣ будани тақвиятро дар фосилаи вақти байни импулсҳои рӯшноӣ – T талаб мекунад,

$$1 + q_0 - p^{\,i} \quad \geq 0 \quad , \qquad (2)$$

ки дар ин ҷо $p^{\,i}$ - қимати сершудаи тақвият мебошад.

Шарти сеюм талаб мекунад, ки энергияи пурраи импулси рӯшноӣ – E_0 ($V_0 = E_0 / E_{\text{п}}$) бояд барои ба вуҷуд овардани тақвияти манфӣ дар система кифоя бошад, яъне

$$\Delta p(V_0) \leq 0 \quad . \qquad (3)$$

Дар акси ҳол, агар $\Delta p(V_0) > 0$ бошад, он гоҳ ба ивази фишурдашавии импулси рӯшноӣ дарозшавии он аз ҳисоби тақвияи қисмати охири он ба мал меояд.

Дар бахши чорум таъсири шароити сершавӣ ба раванди тавлиди импулсҳои шуои фавқулкӯтоҳ дар лазерҳои бефосила нишон дода шудааст. Муайян карда шудааст, ки талаботи муҳим мавҷудияти фарқият дар шароити сершавии муҳити тақвиятдиҳанда ва фурӯбаранда мебошад, ки бо параметри S мувофиқи формулаи (1) муайян карда мешавад. Тақвияти умумӣ ҳангоми гузаштан аз муҳити тақвиятдиҳанда ва фурӯбаранда бо формулаи

$$\Delta p\ t\ = p\ t\ - (1 + q\ t\ )$$

муайян карда мешавад.

Барои ҳолати $S > S_{min}$ пайдоиши назарраси ғайриякҷинсагии тақвияти умумии $\Delta p(t)$ дар тамоми фосилаи импулси рӯшноӣ хос аст, ки ба тақвияти импулс дар минтақаи максимум ва сустшавӣ дар минтақаи болҳои паҳлӯӣ оварда мерасонад. Натиҷаи ниҳоӣ ин аст, ки импулси рӯшноӣ аз рӯйи амплитуда тақвият меёбад ва аз рӯйи давомнокӣ он фишурда мешавад.

Бахшии панҷум ба таҳқиқи таъсири параметрҳои лазер ба марзҳои мавҷудияти, реҷаи синхронизатсияи модҳои лазери бефосила бахшида шудааст. Шартҳои(1)-(3) минтақаи мавҷудияти реҷаи тавлиди устувори лазерро бо фурӯбарандаи сершаванда андаруни резонатор муайян мекунанд. Минтақаи мавҷудият метавонад аз рӯйи бузургиҳои додашудаи фурӯбарии сернашуда ва талафоти хаттӣ бо роҳи интихоби бузургии тақвияти сернашуда, мувофиқи шартҳои (1)-(3), интихоб карда шавад.

Боби дуюм ба таҳқиқи таҷрибавии реҷаи синхронизатсияи нофаъоли модҳо бо ёрии фурӯбарандаи газӣ андаруни резонатори лазери аргон бахшида шудааст. Интихоби лазери аргон, ҳамчун объект барои омӯзиши синхронизатсияи нофаъоли статсионарӣ, аз ду ҷиҳат роҳандозӣ шудааст:

1. Лазерҳои синхронизатсияшудаи аргонӣ, ки барои ангезиши лазерҳои бефосила дар асоси маҳлули рангкунанда истифода мешавад, бояд хусусиятҳои хуби вақтӣ ва энергетикӣ дошта бошанд.

2. Фарқияти шароити сершавии тақвиятдиҳанда ва фурӯбаранда, бо параметри S тибқи формулаи (1) муайян карда мешавад. Конструксияи лазери аргонӣ имкон медиҳад, ки S-ро тавассути геометрияи резонатор ва мавқеи ҷойгиршавии фурӯбаранда ва тақвиятдиҳанда, ба осонӣ ва дар доираи калон, тағйир дода шавад. Аз ин лиҳоз, реҷаи синхронизатсияи модҳо, ҳам аз ҳисоби геометрияи резонатор (α, $A_у/A_п$) ва ҳам аз ҳисоби интихоби муҳити фаъол ($T_у$, $T_п$, $\sigma_п/\sigma_у$) вобаста аст, ва мувофиқи формулаи (1) таносуби охиринро ≥ 1 пиндоштан дуруст аст. Бурриши кӯндалангии гузаришҳо дар ҷисмҳои моеъ ва сахт хурд аст: масалан, барои маҳлули Rh6G $\sigma \sim 10^{-16}$ см^2; барои шишаи неодимӣ он ба 10^{-19} см^2 наздик аст. Дар муҳити газӣ қимати бурриши кӯндалангии оптикии гузаришҳо каме калонтар аст. Ҳисобкунии қимати σ барои гузаришҳои иони аргон дар дарозиҳои мавҷи 488 нм ва 514 нм аз рӯйи формулаи зерин ҳисоб карда

шуд:

$$\sigma = \frac{\hbar\omega}{2W_S T_y},$$

ки дар ин ҷо T_y - фосилаи вақти ҳолати ангезишии иони аргон ва W_s - тавоногии сершавӣ буда, бузургии бурриши кӯндалангии хатҳои спектралӣ ба $\sigma_{488} = 10^{-12}$ см^2 ва $\sigma_{514} = 3\text{x } 10^{-13}$ см^2 баробар аст.

Аз ин лиҳоз, агар истифодаи маҳлулҳои рангкунанда барои синхронизатсияи лазерҳои сахт, аз нуқтаи назари иҷрои (1), асоснок бошад, пас дар мавриди лазерҳои газӣ истифодаи маҳлулҳои рангкунанда ба вазъияти номусоид оварда мерасонад ($\sigma_п/\sigma_у = 6 \text{ x } 10^{-4}$ барои хатти тавлиди лазери аргон 514 нм ва $\sigma_п/\sigma_у = 6 \text{ x}10^{-5}$ барои 488 нм ва аз ин рӯ зиёд кардани зиччии рӯшноӣ дар фурӯбарандаи тунукро талаб мекунад).

Ҳангоми синхронизатсияи нофаъоли модҳо, тавлиди импулсҳои эквидистантӣ бо η импулс дар давраи резонатор, ки фосилаи байни онҳо $T = \frac{T_0}{\eta} = \frac{2L}{c*\eta}$ мебошад, маъмултарин аст. Ин реҷа устувор аст, агар фурӯбаранда дар мавқеи «каратӣ» ва тақвиятдиҳанда дар мавқеи «баробар-қафомонда» ҷойгир бошад ва $T \sim T_y > T_п$:

$$Z_п = m * \frac{1}{\eta} \quad \text{и} \quad Z_у = (2j+1) * \frac{L}{2\eta}, \qquad (4)$$

ки дар ин ҷо Z_n ва Z_y - масофа аз маркази фурӯбаранда ва тақвиятдиҳанда то яке аз оинаҳои резонатор буда, m = 1,2,…,(η-1); j=0,1,…, (η-1) аст. Фаҳмидани он душвор нест, ки дар ин ҳолат импулсҳо, якум, дар миёнаи фурӯбаранда бо фосилаи $t_n = T$ пайдо мешаванд, миёнаи тақвиятдиҳандаро бо навбат, бо фосилаи $t_u = T/2$ мегузарад ва дуюм, ҳангоми гузаштан аз тақвиятдиҳанда (фурӯбаранда) ба самти рост ва баръакс миқдори баробари энергияро ба даст меоранд (гум мекунанд).

Дар ҳолати «каратаи» фурӯбаранда (L/Zn = η адади бутун) реҷаи синхронизатсияи модҳо бо устувории баландтари хусусиятҳои вақтӣ ва тавоногии бештар дар шуоъафканиш фарқ мекунад. Чунин ҳолат ҳамчун синхронизатсия бо импулсҳои «муқобил» ё «бархӯранда» ҷудо карда шудааст.

Сершавии фурӯбарӣ, дар муқоиса бо тақвият, ҳамзамон бо ду импулси рӯшноӣ, ба ду баробар баробар афзоиши қимати бурриши кӯндалангии оптикии фурӯбаранда рост меояд. Чунин тағйироти ғайримустақими қимати фурӯбаранда дар формулаи (1), фарқият дар шароити сершавии муҳитҳои фаъол, бо параметри α, ки барои мавқеи «карати» - и фурӯбаранда қимати калонтаринро қабул мекунад, ба назар гирифта мешавад.

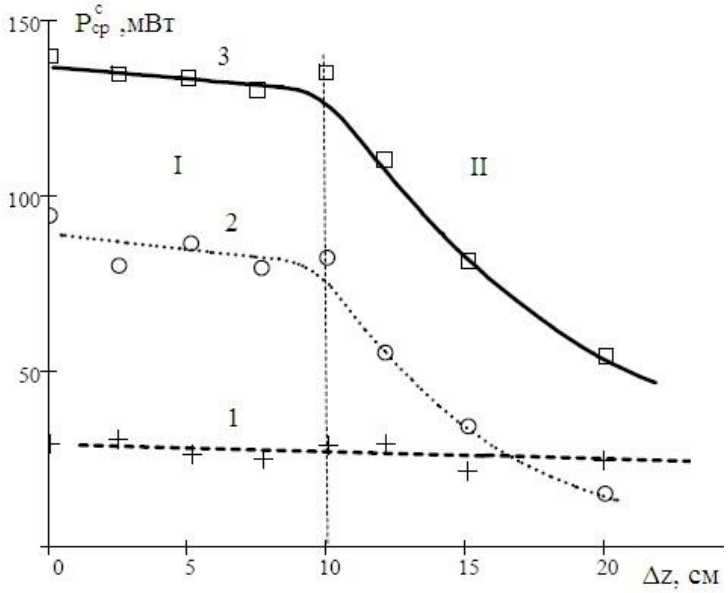
Таъсири тағйиребии α -ро ба реҷаи тавлиди лазер, таҷрибавӣ, бо тағйирёбии мавқеи ҷойгиршавии фурӯфурӯбаранда, таҳқиқ кардан мумкин аст. Дар асл, ин ё бо тағйир додани мавқеи худи фурӯбаранда ё ҳаракати оинаи резонатор ба даст оварда мешавад, ки ин амалан хеле осонтар аст. Таҳқиқот дар сурати тавлиди ду импулси рӯшноӣ дар як даври T_0, ки дар мобайни фурӯбаранда во мехӯранд (импулсҳои бархӯранда), гузаронида

шуд.

Дар расми 1 вобастагии тавоноии миёнаи шуоъафкании лазер дар реҷаи синхронизатсияи нофаъоли модҳо аз бузургии тафовути z = (Zp – Z0) фарқи нуқтаи вохӯрии импулсҳои рӯшноӣ дар фазои дохили резонатор - Z0 ва маркази унсури фурӯбаранда - Zp оварда шудааст.

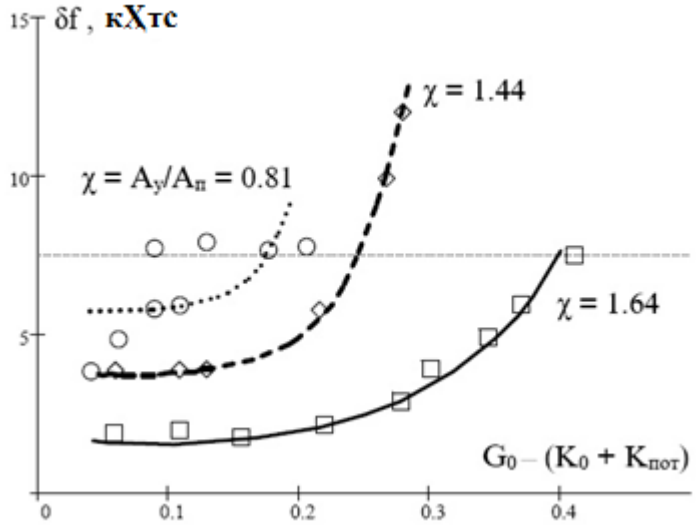
Ҷойгиршавии фурӯбаранда маҳз дар ҳолати «каратӣ» ин ду нуқтаро бо ҳам мепайвандад ва z = 0 мешавад. Тафриқаи ҳадди ақал аз мавқеи «каратӣ» бо наздик шудан ба мавқеи «каратӣ» - и навбатии фурӯбаранда муайян карда мешавад.

Масалан, дар дарозии резонатори L = 400 см ва η =2 барои пайгирии маҳз вобастагӣ аз ҷойгиршавии фурӯбаранда, арзиши иҷозатдодашудаи хати Z тақрибан 20 см буд ва бо имконияти гузаштан ба ҳолати η = 3 муайян карда мешавад.



Расми 1 - Вобастагии таҷрибавии тавоноии миёнаи афканиши лазери Ar+ дар реҷаи синхронизатсияи нофаъоли модҳо аз андозаи баромадан аз мавқеи каратии фурӯбаранда z = (Z_p-Z_0), Z_0 масофа аз маркази фурӯгиранда то оинаи M1, Z0 масофа аз ҷои вохӯрии импулсҳои рӯшноӣ то M1, K_0 = 0.12 - 1, 0.20-2, 0.24 - 3

Дар асл, таъсири ҷойгиршавии фурӯбаранда, тавре ки аз расми 1 дида мешавад, ҳанӯз пештар зоҳир мешавад. Вобастагии паҳнои сигнали занишҳои байнимодӣ аз бузургии тақвият барои фурӯбарии сернашудаи K0 ва бузургиҳои мухталифи параметри $\chi = \frac{A_у}{A_п}$ дар расми 2 оварда шудааст.



Расми 2 - Вобастагии таҷрибавии паҳнои сигнали занишҳои байнимодӣ аз бузургии тақвият, бузургии фурӯбарӣ K_0 = 0.35

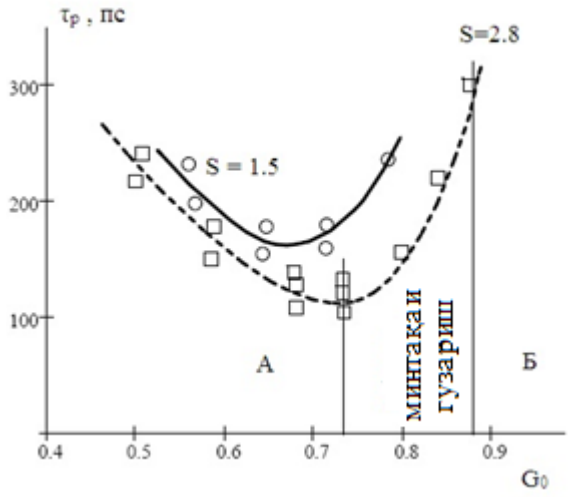
Аз вобастагиҳои овардашуда бармеояд, ки устувории суръати пайгирии импулсҳои рӯшноӣ бо афзоиши параметри χ меафзояд. Афзоиши параметри χ бо тағйирёбии геометрияи

резонатор, ҳамзамон зиёд шудани қимати масоҳати буриши арзии дастаи рӯшноӣ дар тақвиятдиҳанда ва кам шудани он дар фурӯбаранда таъмин карда мешавад. Дар натиҷа, шароити пурратар сершавии фурӯбаранда, дар лаҳзаи гузариши импулсҳои рӯшноӣ, ба вуҷуд меояд, ки то андозае ҳамчун афзоиши чуқурии модулятсия тавсиф кардан мумкин аст.

Боби сеюм ба таҳқиқи таҷрибавии таъсири фарқият, дар шароити сершавии унсурҳои тақвиятдиҳанда ва фурӯбаранда ба тавсифҳои энергетикӣ ва вақтии реҷаи синхронизатсияи нофаъоли статсионарии лазери Ar+ бахшида шудааст. Ҳангоми истифодаи фурӯбарандаи газоразрядӣ барои синхронизатсияи нофаъоли модҳои лазери Ar+, тақвият ва фурӯбарӣ дар як гузариши иони аргон дар шароити наздики разряд ба амал меояд, аз ин рӯ дар формулаи (1) метавон тахмин кард, ки $\sigma_п \approx \sigma_у$. Дар ин ҳолат ифодаи параметри S чунин аст:

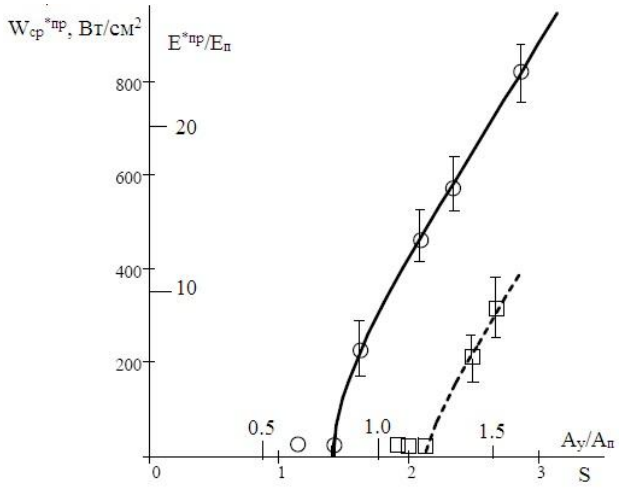
$$S = \alpha \frac{A_у}{A_п} \geq S_{min} \quad . \qquad (5)$$

Ҳамин тариқ, бузургии S пеш аз ҳама бо таносуби буриши геометрии дастаи рӯшноӣ дар тақвиятдиҳанда – $A_у$ ва фурӯбаранда - $A_п$ муайян карда мешавад. Озмоишҳо, ҳангоми тавлиди TEM_{00} модаи арзии лазер, дар дарозии мавҷи λ = 488 нм, гузаронида шуданд. Дарозии резонатор ва мавқеи тақвиятдиҳанда ба фурӯбаранда тавре интихоб карда мешуданд, ки таносуби: $T \sim T_у > T_п$ таъмин карда шавад. Тавре ки қайд карда шуд, параметри S фарқияти шароити сершавии муҳити тақвиятдиҳанда ва фурӯбарандаро муайян мекунад. Тағйири параметри S, дар ҳолати лазери Ar +, тавассути тағйир додани дарозии резонатор, радиуси каҷии оинаҳо ва интихоби ҷойгиршавии тақвиятдиҳанда ва фурӯбаранда ба даст оварда мешавад. Вобастагии давомнокии импулсҳои шуои рӯшноии лазери Ar+ аз бузургии тақвияти сернашуда барои ду бузургии параметри S дар расми 3 оварда шудааст. Дар асл, афзоиши параметри S имкон медиҳад, ки давомнокии импулсҳои шуои тавлидшуда кӯтоҳ карда шавад. Дар ин ҷо барои ҳолати S =2.8 минтақаҳои тағйиребии бузургии G_0 ҷудо карда шудааст, ки дар доираи онҳо сохтори мунтазами вақтии шуоъафкании лазер мушоҳида мешавад



Расми 3 Вобастагии давомнокии импулсҳои рӯшноӣ аз бузургии тақвияти G_0 ва бузургии параметри S - фарқият дар шароити сершавии муҳити тақвиятдиҳанда ва фурӯбаранда барои T = 12 нс, K0 = 0.25, Кпот = 0.15.

Тағйиребии зичии ҳадди тавоногии афканиш аз шароити сершавии муҳити фаъол дар расми 4 тасвир карда шудааст, ки дар он вобастагии арзишҳои ҳадди зичии тавоногии миёна



дар мавҷи давон дар фурӯбаранда $W_{\text{ср}}^{*\text{пр}}$ аз муносибати $A_{\text{у}}/A_{\text{п}}$ барои мавқеи "карати" - и фурӯбаранда ва ду бузургии талафоти хаттӣ оварда шудааст.

Расми 4 - Вобастагии зичии ҳадди тавоноии миена (бо унсури фурӯгирандаи $W_{\text{ср}}^{*\text{пр}}$ (дар реҷаи синхронизатсияи модҳо аз муносибати буриши дастаи рӯшноӣ дар муҳити тақвиятдиҳанда ва фурӯбаранда $A_{\text{у}}/A_{\text{п}}$, барои талафоти мухталиф дар резонатор. Бузаргии параметри η = 2, T = 12 нс, K_0 = 0.2; ○ – $K_{\text{пот}}$ = 0,1 ; □ - $K_{\text{пот}}$ = 0,2.

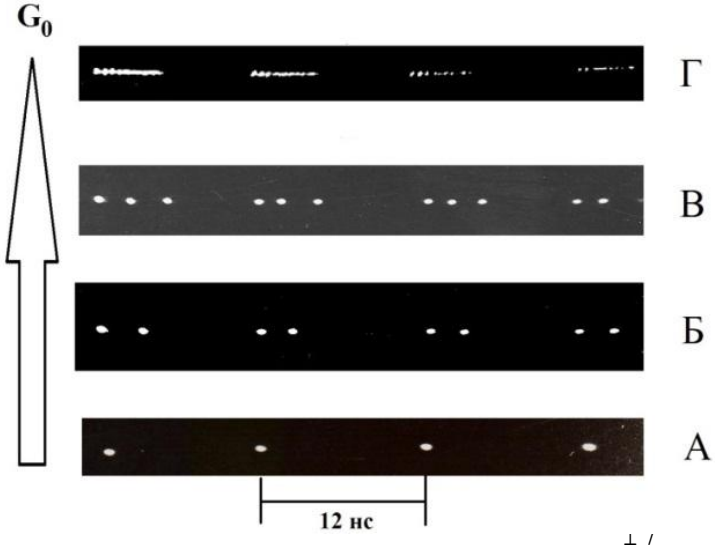
Мавҷудияти $(A_{\text{у}}\ \ A_{\text{п}})_{min}$, ки бузургии он тавассути формулаи зерин

$$S = \alpha\left(\frac{A_{\text{у}}}{A_{\text{п}}}\right)_{min} = \frac{2K_0 + K_{\text{пот}}}{2K_0} \qquad (6)$$

бо талафотҳои хаттӣ ва ғайрихаттӣ вобаста аст, имконияти таҷрибавӣ муайян кардани бузургии параметри α -ро таъмин менамояд ва дар ҳолати мавқеъи «карати» - и фурӯбарандаи тӯлонӣ ба 1.7 баробар будани он муқаррар карда шуд.

Бояд қайд кард, ки мувофиқи формулаи (6) арзиши ҳадди ақали параметри S воқеан аз андозаи талафоти хаттӣ вобаста аст. Афзоиши он татбиқи бузургии калонтари параметри S-ро барои ҳосил кардани реҷаи синхронизатсияи нофаъоли модҳо талаб мекунад.

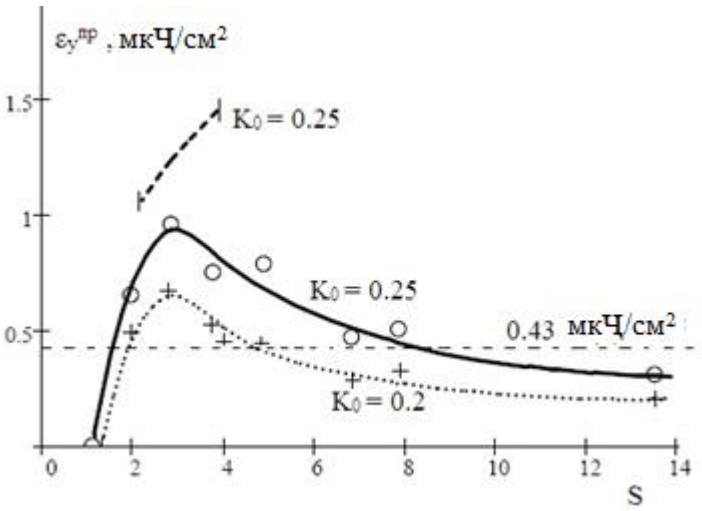
Дар натиҷаи озмоиши лазери Ar+ маълум шуд, ки хусусиятҳои беҳтарини афканиш ҳангоми ба даст овардани зичии ҳадди энергия дар фурӯбаранда $\varepsilon_{\text{п}}^{\text{пр}} = \frac{E_{\text{п}}^{\text{пр}}}{A_{\text{п}}}$, ки бо тағйиребии сохтори вақтии афканиш маҳдуд карда мешавад, ба даст оварда мешаванд. Бузургии $\varepsilon_{\text{п}}^{\text{пр}}$ бевосита бо интихоби бузургиҳои фурӯбарии сернашуда, параметри S ва фосилаи байни импулсҳо муайян карда мешавад.



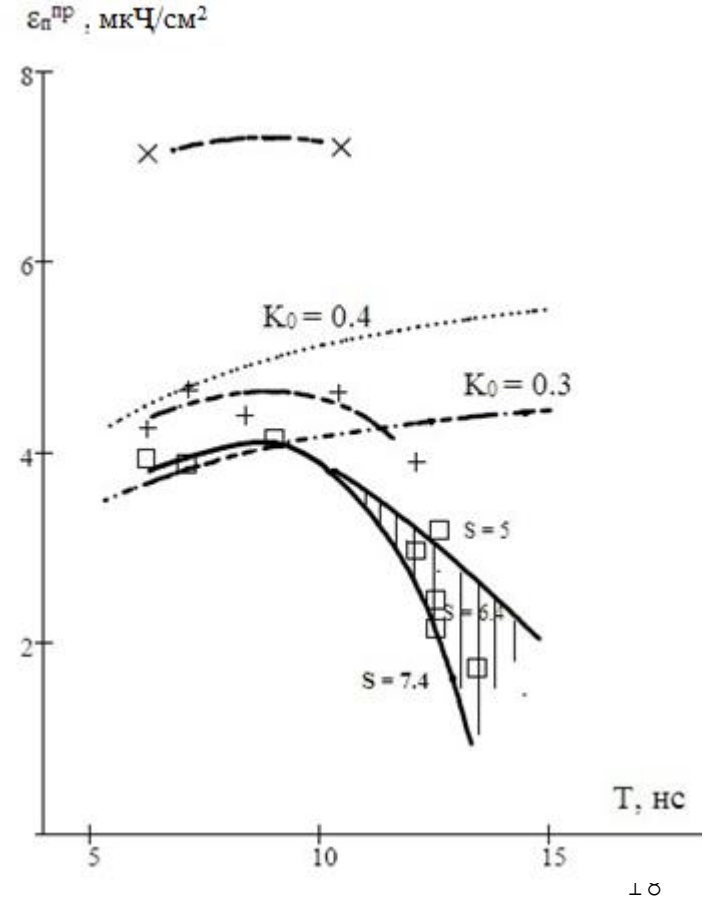
Барои қимати калони фурӯбурд тавсифҳои ниҳоии энергетикӣ ва вақтӣ ба даст оварда мешаванд, ки берун аз он, тавре ки дар расми 5 нишон дода шудааст, равандҳои автомодулятсионӣ мушоҳида карда мешаванд.

Расми 5 - Сохтори вақтии афканиши лазери Ar+ бо синхронизатсияи нофаъоли модҳо, ки бо афзоиши G_0 дар бузургиҳои муқаррарнамудаи K_0 ва параметри S мушоҳида мешавад

Модели феноменологии равандҳои автомодулятсионӣ дар резонатори лазер, ҳангоми синхронизатсияи нофаъоли статсионарии модҳои он, бо назардошти дарозии тақвиятдиҳанда ва фурӯбаранда дар ҳолате, ки давомнокии импулсҳо аз вақти барқароршавии тақвият ва фурӯбурд хеле хурд аст пешниҳод карда шудааст. Дар озмоиши лазери Ar+ маълум шуд, ки хусусиятҳои беҳтарини афканиш, ҳангоми ба даст овардани зичии ҳадди энергия дар фурӯбаранда $\varepsilon_{\text{п}}^{\text{пр}} = \frac{E_{\text{п}}^{\text{пр}}}{A_{\text{п}}}$, ки бо тағйирёбии сохтори вақтии афканиш маҳдуд карда мебошад, ба даст оварда мешавад. Натиҷаҳои таҳқиқоти таҷрибавӣ, ки бо натиҷаҳои ҳисобҳои рақамии модели таҳияшуда мувофиқат мекунанд, дар расмҳои 6 ва 7 оварда шудаанд.



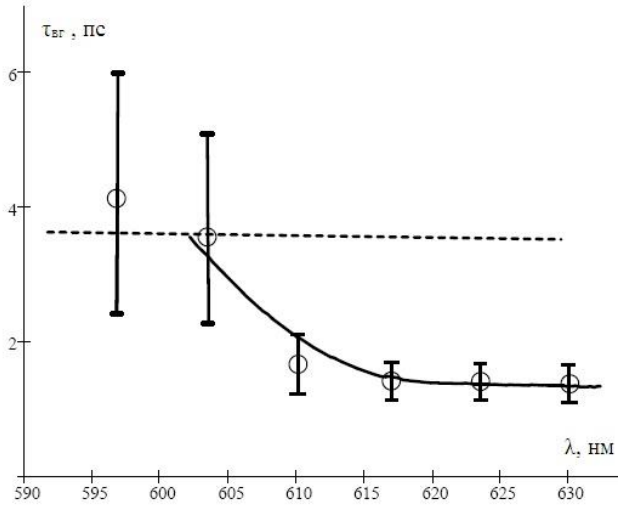
Расми 6 - Вобастагии зичии ҳадди энергияи рӯшноӣ дар тақвиятдиҳандаи $\varepsilon_{\text{у}}^{\text{пр}}$ лазери Ar+ аз бузургии параметри S ҳангоми тавлиди импулсҳои эквидистантӣ T = 10.3 нс. Озмоиш: + - K_0 = 0.2, O - K_0 = 0.25. Хатти борик дар наздикии S = 2.8, ҳисоб барои K_0=0.25 ва $K_{\text{пот}}$ = 0.15.



Расми 7 - Вобастагии зичии ҳадди энергияи рӯшноӣ дар фурӯбаранда $\varepsilon_{\text{п}}^{\text{пр}}$ лазери Ar+ аз бузургии фурӯбарии сернашудаи K_0 ҳангоми тавлиди импулсҳои эквидистантӣ бо T = 10.3 нс. Озмоиш: S =3÷14, хатогӣ ~ 0.2. Хати борик: ҳисоб барои S = 2.8 и $K_{\text{пот}}$ = 0.15.

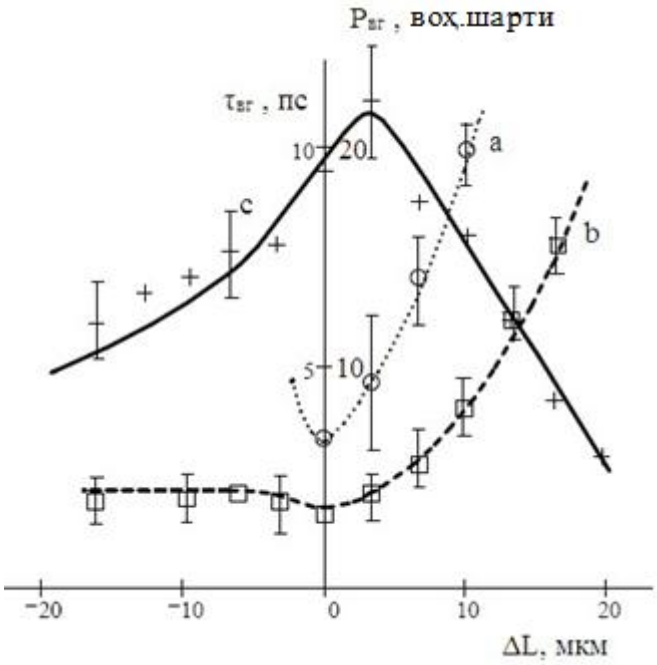
Боби чоруми диссертатсия ба таҳқиқи синхронизатсияи омехтаи модҳо лазери бефосила, дар асоси маҳлули рангкунандаи Rh6G, ҳангоми ҳамчун фурӯбарандаи сершаванда истифода бурдани маҳлули рангкунандаи малахити сабз бахшида шудааст. Таҷрибавӣ имкони-яти интихоби фурӯбарандаи сершаванда аз рӯйи хусусиятҳои спектрӣ

мувофиқи формулаи (1), барои самаранок фишурдани давомнокии импулсҳои шуои тавлидшуда, ҳангоми синхронизатсияи омехтаи модҳои лазер дар маҳлули рангкунанда нишон дода шудааст. Вобастагии дарозии функсияҳои автокоррелятсионӣ дар нисфи амплитуда аз дарозии мавҷи тавлиди лазер дар асоси маҳлули рангкунандаи Rh6G ҳангоми синхронизатсияи омехтаи модҳо бо малахити сабз дар расми 8 оварда шудааст.



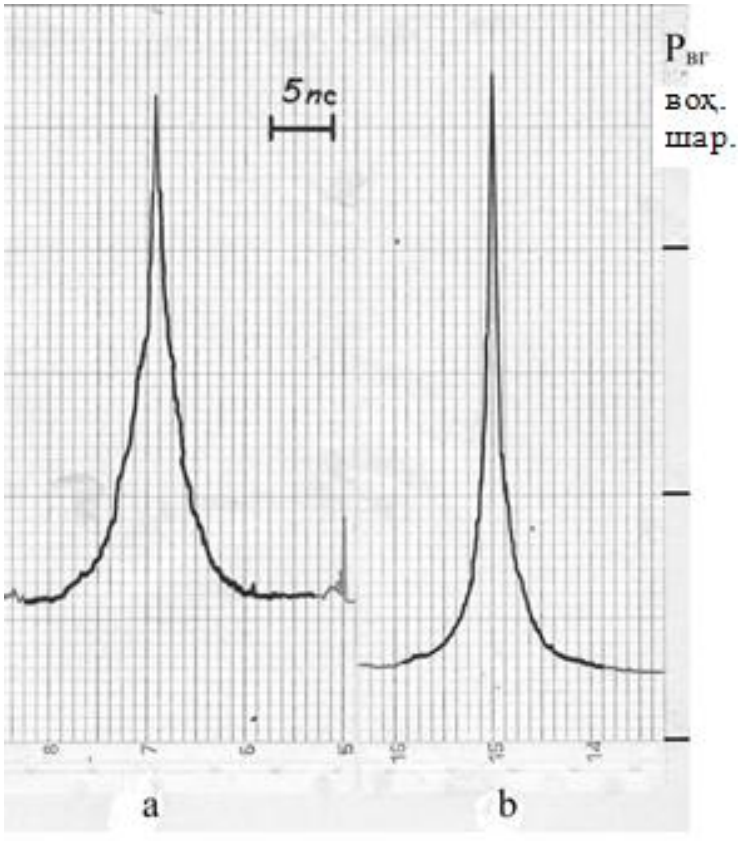
Расми 8 - Вобастагии давомнокии функсияҳои автокоррелятсионӣ дар нисфи амплитуда аз дарозии мавҷи тавлиди лазер дар асоси маҳлули рангкунандаи Rh6G ҳангоми синхронизатсияи омехтаи модҳо, хати нуқтадор ба анегезиши тоза синхронӣ мувофиқат мекунад.

Азбаски таносуби буришҳои кӯндалангии оптикӣ барои Rh6G ва Малахитӣ сабз бузургиҳои гуногун доранд, таъсири самараноки фурӯбаранда дар минтақаи мавҷҳои дароз мушоҳида мешавад. Камшавии иловагии давомнокии импулсҳои шуои тавлидшуда танҳо дар минтақаи дарозии мавҷҳое ба даст оварда шудааст, ки дар он шарти (1) иҷро карда мешавад. Ҳамин тариқ, бори аввал тасдиқи таҷрибавии мавҷудияти меъёри интихоби фурӯбарандаи сершаванда дар асоси хусусиятҳои спектрӣ барои синхронизатсияи модҳои тӯлии навъи додашудаи лазер амалӣ карда шуд. Бори нахуст, баланд бардоштани устувории афканишоти лазер дар реҷаи синхронизатсияи омехтаи модҳо, ки бо афзоиши чуқурии модулятсия ва пайдоиши қитъаи уфуқӣ дар вобастагии дарозии функсияи автокоррелятсионии импулсҳои шуои тавлидшуда аз андозаи тафовути дарозии резонаторҳо (расми9), таҷрибавӣ ошкор карда шуд.



Расми 9 - Вобастагиҳои дарозии функсияҳои автокоррелятсионӣ-$\tau_{вг}$ (а, в) ва тавоногии гармоникаи дуюм - Рвг - (с) аз бузургии тафовути дарозии резонаторҳо ΔL. Хатҳои (в) ва (с) ба синхронизатсияи омехтаи модҳо, (а) ба ангезиши тоза синхронӣ тааллуқ доранд.

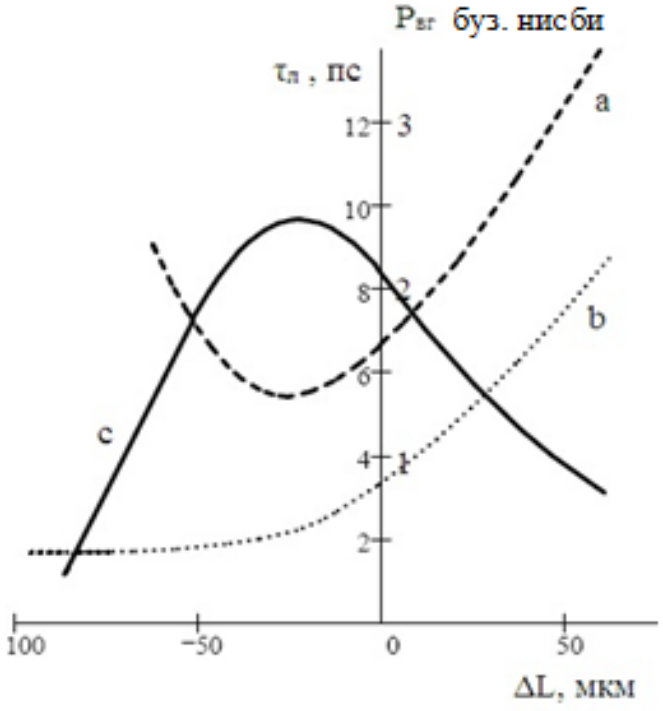
Баръакси синхронизатсияи оддии фаъоли модҳо, ки дар расм дар шакли вобастагии нуқтаӣ пешниҳод шудаанд, ворид кардани фурӯбарандаи сершаванда ба дохили резонатори лазер дар асоси маҳлули рангкунанда аввал давомнокии импулсҳои рӯшноиро коҳиш медиҳад ва дуюм дар соҳаи тафовути манфии дарозии резонаторҳо давомнокии ҳадди ақали ба дастомада бетағйир боқӣ мемонад. Бояд қайд кард, ки дар ин соҳа амалан имкони ба даст овардани реҷаи тавлиди импулсҳои рӯшноӣ вуҷуд надошт. Ба даст овардани устувории баланди тавлиди импулсҳои хеле кӯтоҳи рӯшноӣ ҳангоми ворид кардани фурӯбарандаи сершаванда андаруни резонатори лазер бо синхронизатсияи фаъоли мод тасдиқи имконияти самаранок баланд бардоштани хусусиятҳои вақтӣ ва энергетикӣ мебошад. Ин усул бори аввал аз ҷониби мо ҳамчун реҷаи синхронизатсияи омехтаи модҳо муайян карда шудааст. Бақайдгирии импулсҳои хеле кӯтоҳи рӯшноӣ асосан дар шакли функсияи автокоррелятсионӣ, ҳангоми тавлиди гармоникаи дуюми шуои рӯшноӣ, ки нишондиҳандаи хуби дараҷаи когерентӣ ва шакли импулсҳои рӯшноӣ мебошад, анҷом дода мешавад. Функсияҳои автокоррелятсионии импулсҳои шуои лазер дар асоси маҳлули рангкунанда дар расми16 оварда шудаанд.



Расми 10 - Намуди маъмулии функсияҳои автокоррелятсионии муқарраршуда ҳангоми ангезиши тоза синхронӣ Rh6G - (а) ва ҳангоми синхронизатсияи омехтаи модҳо бо иловаи Малахити сабз - (в). Дарозии мавҷи тавлиди Rh6G $\lambda_г$ = 620 нм, консентратсияи фурӯбаранда 1.7 х 10^{-5} М.

Бо мақсади тасдиқи назариявии таъсири баланд бардоштани устувории реҷаи синхронизатсияи омехтаи модҳо, дар модели назариявӣ модулҳои иловагии ҳисоб кардани амали фурӯбарандаи сершаванда ва ба назар гирифтани фарқияти зичии энергияи импулс дар тақвиятдиҳанда ва фурӯбаранда (баҳисобгирии параметри S мувофиқи формулаи (1)) ҷорӣ карда шуданд. Бояд қайд кард, ки танҳо ҳангоми иҷрои шарти (1), дар ҳисобҳои рақамӣ, таъсири самараноки фурӯбарандаи сершаванда ба кӯтоҳ кардани давомнокии импулсҳо ва нигоҳ доштани тавлиди онҳо дар соҳаи тафовути манфии дарозии резонаторҳо ба даст оварда шуд.

Натиҷаҳои ҳисобҳои рақамии реҷаи синхронизатсияи омехтаи модҳо дар расми 11 оварда шудаанд. Дар асоси маълумоти ҳисобшуда, механизми фишурдашавии иловагии давомнокии импулсҳои шуои тавлидшуда ҳангоми синхронизатсияи омехтаи модҳо шарҳ дода шуд.



Расми 11 - Вобастагии ҳисобшудаи давомнокии импулсҳои рӯшноӣ (а), (в) ва тавоногии гармоникаи дуюм (с) лазер дар асоси маҳлули рангкунанда, барои синхронизатсияи омехтаи модҳо - (в), (с) ва ангезиши тоза синхронӣ (а).$K_0 = 0{,}27$, $\chi = 5$.

Ҳисобҳо нишон медиҳанд, ки илова кардани фурӯбарандаи ғайрихаттӣ на танҳо ба кам шудани давомнокии импулсҳои рӯшноӣ оварда мерасонад, балки энергия ва амплитудаи онҳоро ба таври назаррас зиёд мекунад. Ҳангоми ҳамон тафовутҳо, барои синхронизатсияи омехтаи модҳо пайдоиши импулсҳои сателлит мушоҳида карда намешавад. Энергияи импулсҳои шуои ташаккулёфта барои сер кардани тақвияти зиёд кофӣ аст, ки имконнопазирии пайдоиши импулсҳои иловагии рӯшноиро истисно мекунад. Ба қисми уфуқии баромадани вобастагии $\tau_л$, дар минтақаи $\Delta L < 0$ (расми 11 (а)) маънои суст шудани механизми фишурдани давомнокии импулсҳои рӯшноиро дорад, ки бо кам шудани амплитудаи онҳо (вобастагӣ (с) дар расми 11) аз ҳисоби ба тақвиятдиҳанда пештар омадан алоқаманд аст.

Ҳамин тариқ мувофиқати пурраи сифатии натиҷаҳои озмоиш ва ҳисобҳои рақамии параметрҳои реҷаи синхронизатсияи омехтаи модҳои лазери бефосила дар асоси маҳлули рангкунанда ба даст оварда шуд, ки аввал мавҷудияти меъёри интихоби фурӯбарандаи сершавандаро, дуюм коҳиши иловагии давомнокии импулсҳои рӯшноӣ ва сеюм баланд бардоштани устувории реҷаи тавлиди лазер ҳангоми синхронизатсияи омехтаи модҳо тасдиқ намуд.

Боби панҷум ба ҳисобкунии рақамии коррелятсияи хусусиятҳои вақтӣ, спектрӣ ва энергетикии импулсҳо аз нуқтаи назари истифодаи онҳо дар системаҳои коркарди рақамии иттилоот бахшида шудааст.

Маълум аст, ки давомнокии импулсҳои рӯшноӣ бо паҳнои спектри афканиш, ки ба вақти барқароршавии муҳити фаъол ва поляризатсияи сатҳи болоии гузариши лазерӣ мутаносиб аст, муайян карда мешавад.

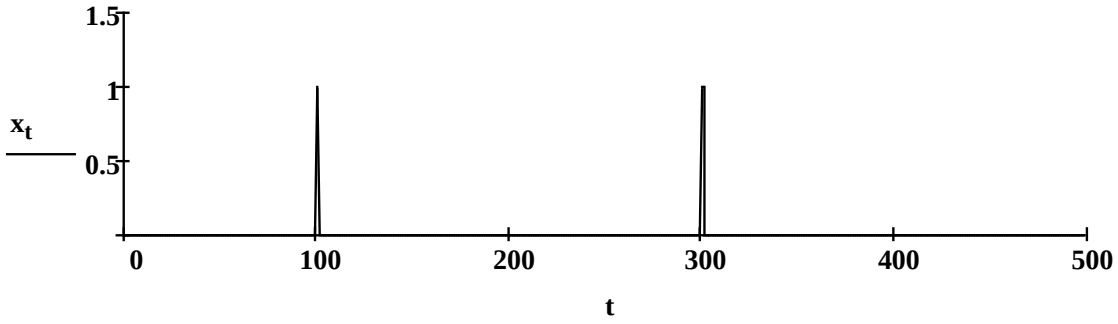
Охирин ҳамеша кӯтоҳтар аст ва давомнокии ҳадди ақал, ки ҳангоми синхронизатсияи модҳо ба даст оварда мешавад, маҳз бо ин миқдор маҳдуд карда мешавад. Дар робита ба ин, дар шароити наздикшавӣ ба тавлиди давомнокии ҳадди импулсҳои рӯшноӣ равандҳои ҳамкории когерентии импулсҳои рӯшноӣ ҳам тақвиятдиҳанда ва ҳам фурӯбарандаи муҳит муҳим мешаванд.

Пайдарпаии даврии импулсҳои фавқулкӯтоҳи рӯшноӣ ду хусусияти асосии вақтӣ дорад, ин давомнокии импулси алоҳидаи рӯшноӣ ва давраи вақт байни импулсҳо мебошад. Алақамандии бешубҳаи тарафайн байни хусусиятҳои спектрӣ ва вақтии сигнали даврӣ, ки бо табдилдиҳии Фурйе муайян карда мешавад, имкон медиҳад, ки ҳисобҳои рақамии спектри ҳар як сигнали даврӣ гузаронида шавад ва баръакс сохтори вақтии ҳар як шакли спектрро ҳисоб кунанд.

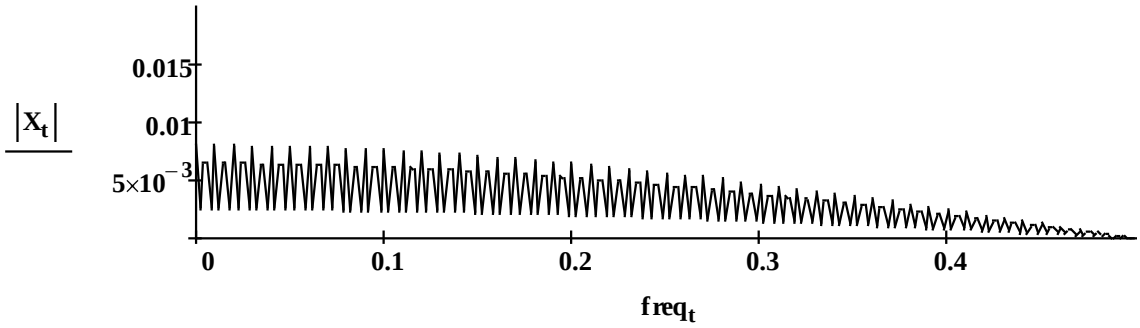
Таҳқиқоти таҷрибавии минтақаи мавҷудияти реҷаи синхронизатсияи модҳо, тасдиқ карданд, ки якчанд маҳдудиятҳои реҷаи синхронизатсияи модҳо мавҷуд буда, бо тағйиребии сохтори вақтии шуои рӯшноӣ бо гузариш аз импулсҳои алоҳида ба сохторҳои мураккаб бо мавҷудияти импулсҳои иловагии сателлитҳо алоқаманд мебошад. Ин сохторҳо устувории кофӣ доранд, ки бо мавҷудияти гистерезис ҳангоми гузариш аз як сохтор ба сохтори дигар тасдиқ карда мешаванд. Ин ҳолат онҳоро аз ҷиҳати доро будан ба нишондиҳандаи баланди энергетикӣ ҷолиб месозад. Коррелятсияи пурра барои шакли синусоидалии импулс ва хати спектрии афканиш мушоҳида карда шуда, барои шакли экспоненсиалӣ камтар аст.

Вобастагии мутақобилаи хусусиятҳои спектрӣ ва вақтии манбаъҳои иттилоот барои тафсири натиҷаҳои таҳқиқоти таҷрибавӣ ҳангоми мавҷуд будани имконияти ченкунии танҳо яке аз ин хусусиятҳо васеъ истифода мешавад.

Ин имконият барои ошкор кардани табиат ва механизми пайдоиши импулсҳои сателлит, ҳангоми гузаштан ба нишондиҳандаҳои калони энергетикии лазер бо синхронизатсияи нофаъоли модҳо истифода шудааст. Барои пайдарпаии даврӣ импулсҳои дар расми 12 овардашуда, шакли спектри ҳисоб карда шуда дар расми13 оварда шудааст.



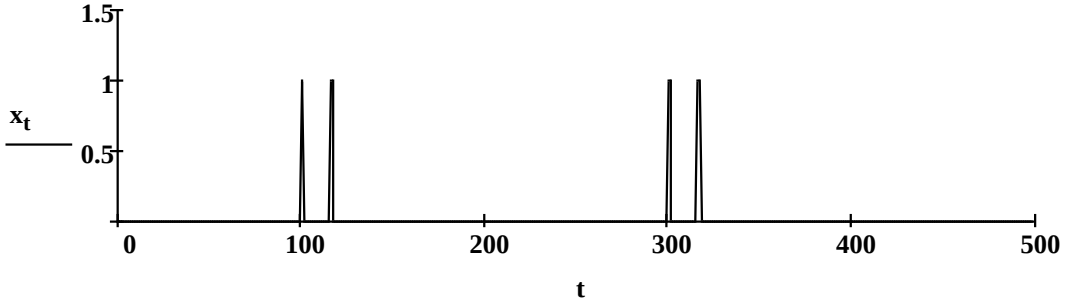
Расми 12 - Шакли сигнали ибтидоӣ аз ду импулс, ки 1 сония давом мекунад ва амплитудаи баробар ба 1 бузургии шартӣ дорад



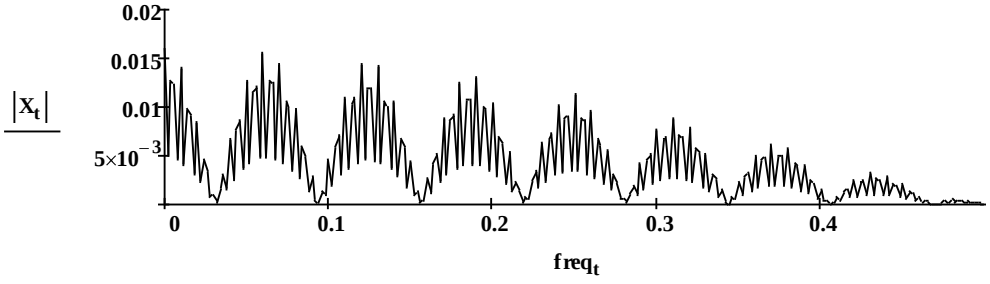
Расми 13 - Шакли спектри сигнали дар расми12 додашуда

Механизм ва табиати пайдоиши сохтори мураккаби вақтии импулсҳо, ҳангоми тавсифҳои баланди энергетикии лазер бо синхронизатсияи модҳо, дар тӯли муддати тӯлонӣ номаълум боқӣ монд. Барои ин, ҳисобҳои рақамии шакли спектри сохтори мураккаби вақтӣ дар расми 14 пешниҳодшуда гузаронида шудад, ки дар расми 15 оварда шудааст.

Дар асоси вобастагии овардашуда хулосаҳои зеринро баровардан мумкин аст. Пеш аз ҳама, ташаккули сохтори нави даврӣ, ки бевосита бо як импулси сателлит дар назди ҳар як импулси асосӣ алоқаманд аст, ба амал меояд. Даврабандии сохтор бевосита бо фосилаҳои баробар байни импулси асосӣ ва сателлит муайян карда мешавад. Андозаи давр, дар спектр, мутаносибан ба андозаи фосилаи вақти байни импулси асосӣ ва сетеллити он тағйир меёбад.



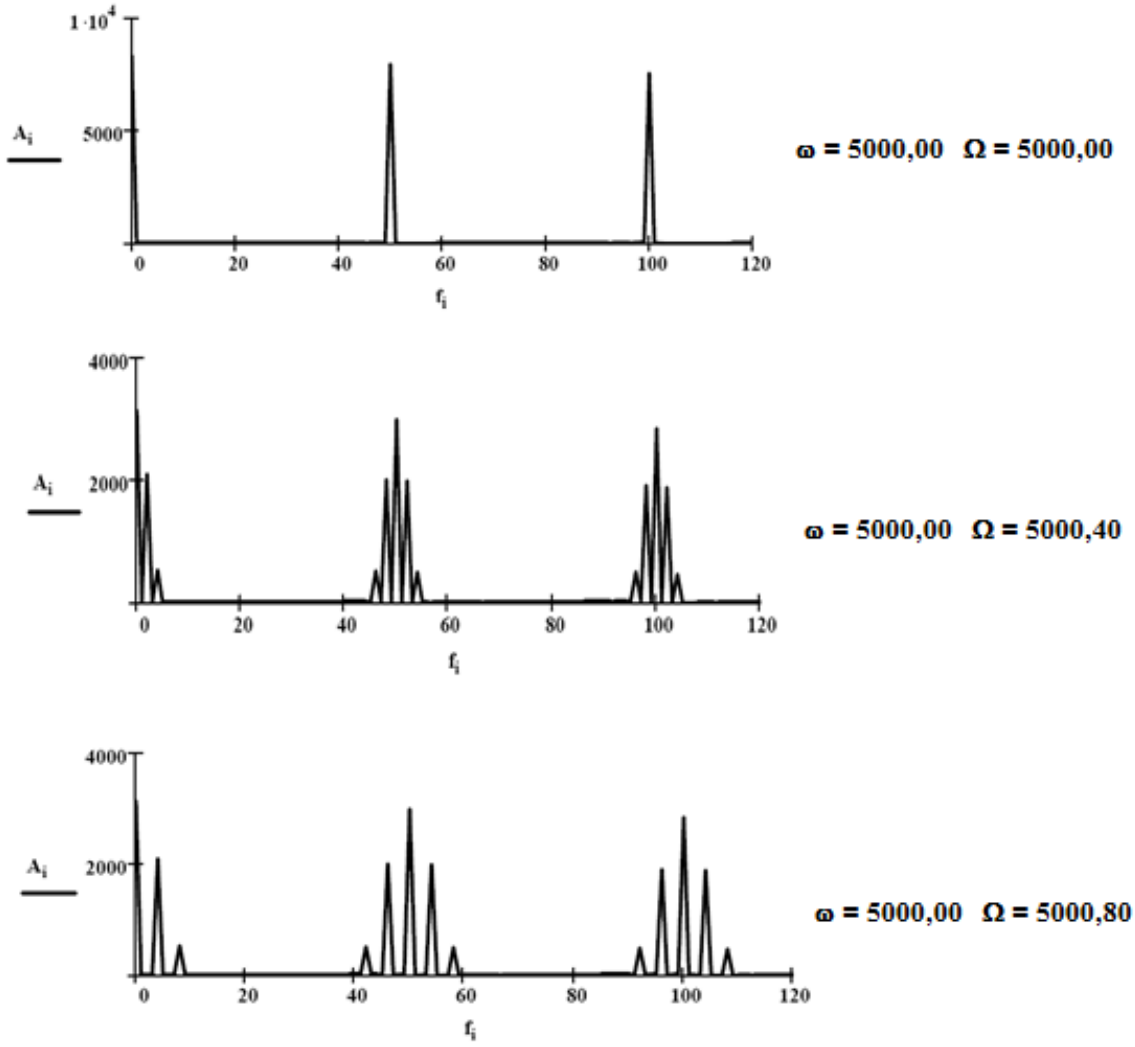
Расми 14 - Сохти таркибии ҷуфти импулсҳо дар як даври додашуда



Расми 15 - Спектри сохти таркибии ҷуфти импулсҳои амплитудаи якхела дар як давр

Ҷунин ҳисобҳо барои муқоисаи сигнали занишҳо барои пайдарпаии даврии импулсҳои сохтори гуногун гузаронида шудаанд. Коррелятсияи пурраи шакли сигнали занишҳо ва сохтори вақтии сигналҳои даврӣ ба

даст оварда шудааст. Дар асоси муқоисаи онҳо хулоса бароварда шудааст, ки дар лазерҳои бефосила ҳамзамон синхронизатсияи якчанд гурӯҳҳои модҳои тӯлӣ имконпазир имконпазир аст. Агар басомади марказии гурӯҳҳо гуногун бошад, пас ин дар сигналҳои заниш, тавре ки дар расми16 мушоҳида мешавад, ба таври возеҳ зоҳир мешавад. Маҷмӯи сигналҳои заниш мушоҳида шуда, фарқи байни ин сигналҳо фарқияти басомади марказии гурӯҳҳоро муайян мекунад. Фарқияти басомадҳо бо дарозии оптикии резонаторҳо муайян карда мешавад, ки дар навбати худ аз бузургии тақвияти сершуда дар муҳити фаъол ва фурӯбарӣ дар муҳити



пассив вобаста аст.

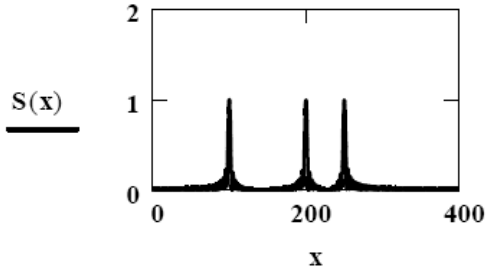
Расми 16 - Вобастагии сохтори сигнали занишҳо - Ai аз басомади - fi барои басомади мухталифи марказӣ дар яке аз гурӯҳҳои лапишҳои гармонӣ

Ин механизми ташаккули сохтори мураккаби вақтии шуои рӯшноиро бо якчанд импулсҳо дар як давр тасдиқ мекунад, ки дар натиҷаи пайдоиши тавоногии кофӣ ё энергия барои пайдо шудани импулсҳои нав дар як давра, ҳангоми афзоиши коэффитсиенти тақвияти лазер, имконпазир мегардад.

Муқоисаи натиҷаҳои ҳисобҳои рақамӣ имконияти интерференсияи якчанд ва аз ин рӯ гурӯҳҳои зиёди лапишҳои гармониро нишон медиҳад. Ин дар навбати худ, реҷаи синхронизатсияи, гурӯҳҳои зиёди модҳои тӯлии лазерҳои бефосила мебошад.

Боби шашум ба таҳияи усулҳои истифодаи шуои лазерӣ бо модҳои синхронизатсия шуда барои ташаккули маълумоти бисёр битӣ дар системаҳои рақамӣ ва коркарди ҷисмҳои сахт бахшида шудааст. Ба реҷаи синхронизатсияи модҳои тӯлии лазер, алоқаи хеле пуркуввати маҷмӯи мавҷҳои эквидистантӣ, дар миқёси басомадҳо, ки импулсҳои хеле кӯтоҳи рӯшноиро бо устувории баланд ташкил медиҳад, хос мебошад. Аз ин лиҳоз, ҳар қадаре ки шумораи мавҷҳо зиёд бошад, ҳамон қадар давомнокии импулси ҳосилшуда кӯтоҳтар мешавад. Агар ҳар як мавҷи синхронизатсия шуда интиқолдиҳандаи як бит иттилоот бошад (Ҷадвали 1), пас маълум мешавад, ки ҳар қадар миқдори иттилоот дар чунин як импулс зиед бошад, ҳамон қадар давомнокии он камтар мешавад. Ин имконияти беназири фишурдани иттилоот аст, ки то имрӯз дар компютерҳои квантӣ истифода намешавад. Даври пай дар паии импулсҳо бо фосилаи басомади байни лапишҳои ҳамсоя муайян карда мешавад. Давомнокии импулсҳо бевосита аз шумораи лапишҳои ҷамъшаванда вобаста аст.

Ҷадвали 1 - Вобастагии спектри лапишҳои синхронизатсия шуда аз рамзи дуӣ

$n_{0,j}$	|S(x)| - спектри мавҷҳои синхронизатсия шуда
1 0 1 1	

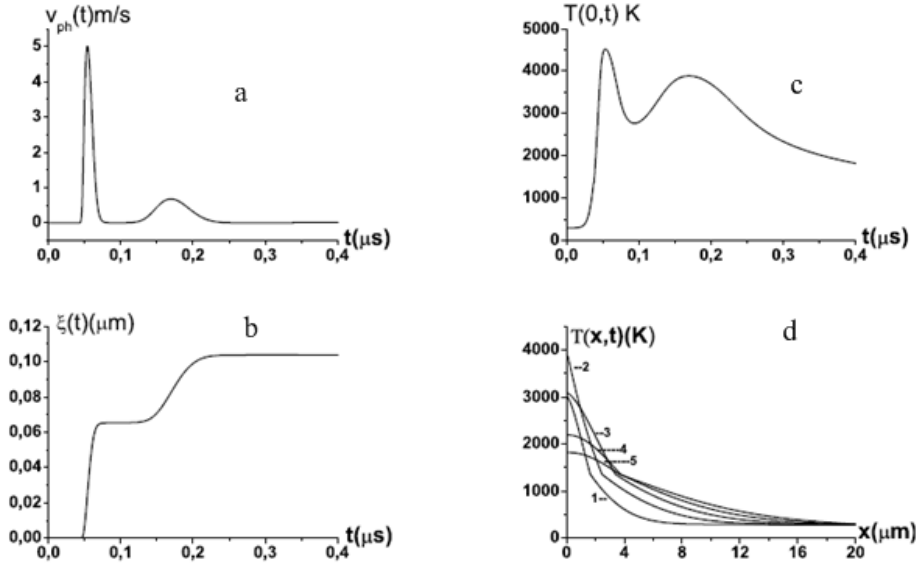
Дар робита ба ин, реҷаи синхронизатсияи модҳои лазерии бефосила метавонад барои ташаккули маълумоти бисёр битӣ истифода шавад, ки дар он ҳар як воҳиди элементарии иттилоот аз як моди тӯлии резонатор иборат аст.

Ба ҳар як маҷмӯи рамзи дуӣ - $n_{0,j}$ спектри худ - |S(x)| аз маҷмӯи лапишҳо дар басомадҳои дискретӣ мувофиқат мекунад ва онҳо ба таври возеҳ бо ҳам алоқаманданд. Вазифаи идоракунии модҳои тӯлӣ, метавонад бо роҳи тавлид дар фурӯбарандаи сершаванда тавассути резонатори ҳалқавии алоҳида ё як ҷуфти панҷараҳои дифраксионӣ ҳал карда шавад.

Реҷаи синхронизатсияи модҳои тӯлӣ ба системаи лапанда, ки чуқурии

бузурги модулятсия дошта тааллуқ дорад, зеро он дар шароити сершавии шадиди, ҳам фурӯбарӣ ва ҳам тақвияти системаи лазерӣ ба даст оварда мешавад.

Новобаста аз пайдоиши импулсҳои иловагӣ,сателлитҳо, ҳолати тавлиди лазер ва хусусиятҳои вақтии он устувор боқӣ мемонанд. Тавсифҳои энергетикии лазер бо синхронизатсияи модҳо дар ҳолати сохтори мураккаби вақтӣ нисбат ба сохтори вақтии импулсҳои ягона хеле баландтар мебошанд. Бо истифодаи импулсҳои рӯшноии сохтори мураккаби афканиши лазер, ки дар он устувории баланди тавсифҳои вақтӣ ва энергетикӣ таъмин карда мешавад, нишондиҳандаи баландтар дар натиҷаҳои таъсир ба равандҳои коркарди маводҳо ба даст оварда мешавад.



Расми 17 - Вобастагиҳои вақтии суръати ҳаракати сарҳад аз сабаби бухоршавӣ - (a), координатаҳои сарҳади кӯчонидашуда – (b), ҳарорат дар сарҳади x=ξ(t) - (c) ва профилҳои ҳарорат дар нуқтаҳои гуногуни вақти суръати ҳаракат ВА профили ҳарорат дар лаҳзаи вақт: 1 - t = 0, 08 μs; 2- t = 0, 16 μs; 3- t = 0, 24 μs; 4- t = 0, 32 μs; 5- t = 0, 4 μs; - (d).

Бо ҳисобҳои рақамӣ вобастагии бевоситаи вокунишҳои вақтӣ ва андозагирии таъсири афканишоти лазери сохтори мураккаби вақтӣ дар раванди аблятсия (расми17 a,b,c) нишон дода шудааст.

Дар Бахши **"Муҳокимаи натиҷаҳои бадастомада"** таҳлили мухтасари маълумоти таҳқиқоти таҷрибавӣ ва назариявӣ оварда шудааст.

ХУЛОСАҲО

Натиҷаҳои асосии илмии диссертатсия Дар кори диссертатсионӣ натиҷаҳои зерин ба даст оварда шудаанд:

- Амали самараноки фурӯбарандаи суст сершаванда дар лазерҳои бефосила бо таъмини фарқият дар шароити сершавӣ, ки бо параметри $S = \alpha * \frac{A_a}{A_b} * \frac{\sigma^b}{\sigma^a}$ муайян карда мешавад [17-A], [26-A], [31-A];

- Истифодаи фурӯбарандаи сершаванда, устувории тавлиди лазери бефосиларо дар реҷаи синхронизатсияи пассив ва омехтаи модҳо баланд мебардорад [10-А], [30-А];
- Барои синхронизатсияи нофаъоли модҳои лазери Аг+ бефосила фурӯбарандаи газӣ таҳия шудааст [18-А], [32-А];
- Ҳодисаҳои гистерезисӣ, дар лазерҳои бефосилаи синхронизатсияи нофаъоли модҳои тӯлӣ дошта, бо равандҳои сершавии муҳити тақвиятдиҳанда ва фурӯбаранда алоқаманд аст [15-А], [20-а];
- Дар ҳолати истифодаи тақвиятдиҳанда ва фурӯбаранда, ҳамчун қисмҳои алоҳида, фарқият дар шароити сершавӣ тавассути буриши геометрии дастаҳом рӯшноӣ дар ҳар як ҷузъ, "вохӯрии" импулсҳо андаруни фурӯбаранда ва гузариши ҷудогонаи онҳо тавассути ҷузъи тақвиятдиҳанда, инчунин равандҳои ҳамкории когерентии импулсҳои шуои ташаккулёфта дар тақвиятдиҳанда ва фурӯбаранда ба даст оварда мешавад [19-А], [23-А], [24-А];
- Меъёри интихоби фурӯбарандаи сершаванда, барои синхронизатсияи омехтаи модҳои лазери бефосила дар асоси маҳлули рангкунанда аз рӯйи тавсифҳои спектрӣ ($(\sigma_п / \sigma_у > 1)$ вуҷуд дорад [5-А], [16-А];
- Сохтори мураккаби вақтии афканиши лазери бефосила, дар реҷаи синхронизатсияи нофаъоли модҳо, устувории баланд дорад ва квазиимпулсҳои даврӣ когерентӣ мебошанд [4-А], [6-А], [36-А];
- Дар раванди ташаккули сохтори вақтии афканиши лазери бефосила тавсифҳои энергетикии афканиш аҳамияти калон дорад, ки мавҷудияти фарқияти оптималиро дар шароити сершавии S_{opt} муайян мекунанд [2-А], [21-а];
- Ҳисобҳои рақамии спектрҳо имконияти дар як вақт синхронизатсия кардани якчанд гурӯҳҳои модҳои тӯлии лазерҳои бефосиларо тасдиқ мекунад [8-А], [11-А], [12-А];
- Таъмини шароити тавлид дар фурӯбарандаи сершаванда, роҳи ворид кардани иттилоот дар импулси рӯшноӣ мебошад [3-А], [9-А], [29-А], [33-А];
- Лазерҳои бефосилаи бо синхронизатсияи модҳои тӯлӣ метавонанд барои ташаккули маълумоти бисербитӣ истифода шавад [13-А], [14-А], [22-А], [25-А], [35-А];
- Импулсҳои даврии сохтори мураккаб ва квазиимпулсҳо ба баланд бардоштани самаранокии раванди аблятсияи лазерӣ мусоидат мекунанд [7-А], [27-А], [28-А], [34-А].

Тавсияҳо оид ба истифодаи амалии натиҷаҳо

Натиҷаҳои диссертатсия метавонанд ҳангоми таҳия ва сохтани лазерҳои бефосила дар реҷаи синхронизатсияи нофаъол ва омехтаи модҳо бо мақсади тавлиди импулсҳои фавқулкӯтоҳи афканиш дар шакли майдони электромагнитӣ истифода шаванд. Онҳо инчунин метавонанд дар таҳия ва сохтани системаҳои коркарди иттилоот, таҳқиқот ва идоракунии

равандҳои марбут ба андозагирии дақиқи масофа, вақт ва басомад, ҳам дар илми бунёдӣ ва ҳам дар масъалаҳои амалӣ истифода шаванд. Натиҷаҳои диссертатсияро ҳангоми хондани курсҳои махсус ва навиштани корҳои илмӣ барои магистрантон, аспирантон ва донишҷӯёни курсҳои болоии ихтисосҳои физика, математика ва телекоммуникатсияи муассисаҳои таълимии олӣ истифода бурдан мумкин аст.

РӮЙХАТИ АДАБИЕТИ ИСТИФОДАШУДА

14. Paul P. M. Observation of a Train of Attosecond Pulses from High Harmonic Generation [Text] / Paul P. M. et al. // Science – 2001. – Vol.292 – P.1689-1692.
15. Kling F. Attosecond Electron Dynamics [Text] / Kling F. and Vrakking J.J. // Annual Review of Physical Chemistry – 2008. Vol. 59(1) – P. 463-492.
16. Cavalieri A. L. 1.5-cycle near infrared laser waveforms and their use for the generation of ultra-broadband soft-x-ray harmonic continua [Text] / Cavalieri A. L., Goulielmakis E., Horvath B., Helml W., Schultze M., Fieß M., Pervak V., Veisz L., Yakovlev V. S., Uiberacker M., Apolonski A., Krausz F., Kienberger R. // New J. Phys. – 2007. – Vol. 9 – №7 – P. 242-1–242-12.
17. Haus H.A. Mode-locking of Lasers [Text] / H.A. Haus // IEEE J. on selected topics in Quant. Electron. - 2000. -V.6. -№ 6. - P.1173-1185.
18. Haus H.A. Theory of mode-locking with slow saturable absorber [Text] / H.A. Haus // IEEE J. Quant. Electron. - 1975. - V.11. - № 9. - P.736-746.
19. Басов Н.Г. Изменение формы импульса света при нелинейном усилении [Текст] / Н.Г. Басов, В.С. Летохов // ДАН СССР. - 1966. - Т.167. - №1. - С.73-76.
20. Ganeev R.A. Comparison studies of high-order harmonic generation in argon gas and different laser-produced plasmas [Text] / R.A. Ganeev, G.S. Boltaev, V.V. Kim, M. Venkatesh, C. Guo // OSA Continuum – 2019. – Vol.2 (8) – P.2381-2390.
21. Christov I. P. High-Harmonic Generation of Attosecond Pulses in the “Single-Cycle” Regime [Text] / I. P. Christov, M. M. Murnane, and H. C. Kapteyn // Phys. Rev. Lett.- 1997. – Vol.78(7) – P.1251-1254
22. Li S. Q. Ultrathin gold nanowires as broadband saturable absorbers for ultrashort pulsed lasers [Text] / S. Q. Li, C. J. Lv, H. Y. Luo, et al. // Laser Phys. Lett. - 2022. – Vol. 19(9) – P. 095102.
23. Zhao X. L. Integration and applications of nanomaterials for ultrafast photonics [Text] / X. L. Zhao, H. Jin, J. Y. Liu, et al. // Laser Photonics Rev. - 2022. – Vol. 16(11) – P. 2200386.
24. Chen S. Wavelength-dependent nonlinear absorption of gold nanobipyramids with large saturable modulation depth [Text] / S. Chen, Y. Gao, R. P. Niu, et al. // Opt. Laser Technol. - 2022. – Vol. 147– P. 107686.
25. Гафуров Х.Г. Повышение стабильности непрерывного лазера на красителе с синхронным возбуждением при введении нелинейного поглотителя [Текст] / Х.Г. Гафуров, Д.П. Криндач, В.А. Нехаенко, А.Г. Яковлев // Квантовая электроника. - 1985. - Т.12. - № 6. - С.1279-1282.

26. Нехаенко В.А. К теории синхронной накачки лазеров на красителях / [Текст] / В.А. Нехаенко// Квантовая электроника.-1981. - Т.8. - № 4.- С.734-744.

РЎЙХАТИ КОРҲОИ ИЛМИИ ДОВТАЛАБИ ДАРАҶАИ ИЛМӢ ДАР МАВЗЎИ ДИССЕРТАТСИЯ

Монографияҳо:

[1-А] Криндач Д.П. Фемтотехнология световых импульсов [Текст] / Д.П. Криндач, Б.И. Назаров, **Х. Гафуров**. - Душанбе: Ирфон, 2016. -156 С.

Мақолаҳое, ки дар маҷаллаҳои тақризшаванда, ки аз ҷониби КОА назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон тавсия шуда, нашр шудаанд:

[2-А] Gafurov H. Simulation of laser ablation of materials within the thermal spike model [Text] / I.V. Amirkhanov, I. Sarkhadov, Z.K. Tukhliev, H. Gafurov / Journal of Surface Investigation: X-Ray, Synchotron and Neutrin Techniques. - 2024. - V.18. - № 2. - P. 348-353.

[3-А] Гафуров Х. Исследование временных и энергетических характеристик непрерывного лазера при пассивной синхронизации продольных мод [Текст] / Х. Гафуров // Учёные записки ХГУ им Б. Гафурова. Серия: Естественные и экономические науки. - 2023. - № 3 (66). - С. 10-15.

[4-А] Гафуров Х. Применение дифракционных решеток для размещения много битной информации в световых импульсах лазера с синхронизованными модами [Текст] / Х. Гафуров // Политехнический вестник. Таджикского политехнического университета имени академика М.С.Осими, серия: интеллект, инновации, инвестиции. - 2023. - №1 (61). - С. 22-26.

[5-А] Гафуров Х. Синхронизация нескольких групп продольных мод непрерывных лазеров [Текст] / Х. Гафуров // Учёные записки ХГУ им Б. Гафурова. Серия: Естественные и экономические науки. - 2022. - № 3 (62). - С. 50 - 55.

[6-А] Гафуров Х. Исследование границ существования синхронизации продольных мод лазера с нелинейным поглотителем в резонаторе [Текст] / // Политехнический вестник. Таджикского политехнического университета имени академика М.С.Осими, серия: интеллект, инновации, инвестиции. // 2022. №3 (59). С.19-23.

[7-А] Гафуров Х.Г. Механизм высокой стабильности временной структуры лазера с синхронизацией мод [Текст] / Х.Г. Гафуров, Х.А. Тошходжаев // Известия Академии наук Республики Таджикистан отделение физико-математических, химических, геологических и технических наук. - 2020. - №1 (178). - С.57-64.

[8-А] Гафуров Х.Г. Моделирование воздействия лазерного импульса сложной временной структуры на тепловые процессы в твердых телах [Текст] / Х.Г. Гафуров, И. Сархадов, Х.А. Тошходжаев, М. Хомидов //

Политехнический вестник. Таджикского политехнического университета имени академика М.С.Осими, серия: интеллект, инновации, инвестиции. - 2019. - №2 (46). - С.41-46.

[9-А] Гафуров Х.Г. К волновой теории пассивной синхронизации мод непрерывных лазеров [Текст] / Х.Г. Гафуров, Х.А. Тошходжаев, М.Н. Рахматов // Учёные записки ХГУ им Б. Гафурова. Серия: Естественные и экономические науки. - 2019. - № 3 (50). - С. 33 - 38.

[10-А] Гафуров Х.Г. Способ формирования многобитной информации в лазерах с пассивной синхронизацией мод [Текст] / Х.Г. Гафуров, Б.И. Назаров, С.Ф. Абдуллаев // Известия Академии наук Республики Таджикистан отделение физико-математических, химических, геологических и технических наук. - 2019. - №3 (176). - С. 32-37.

[11-А] Гафуров Х.Г. Самостабилизация режима генерации аргонового лазера с нелинейным поглотителем внутри резонатора [Текст] / Х.Г. Гафуров, Х.А. Тошходжаев // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. - 2019. - №4. - С.100 – 107.

[12-А] Гафуров Х.Г. Спектрольный анализ излучения периодических импульсов сателлит [Текст] / Х.Г. Гафуров, Х.А. Тошходжаев, М.Н. Рахматов // Учёные записки ХГУ им Б. Гафурова. Серия: Естественные и экономические науки. - 2018. - №3 (46). - С.12-17.

[13-А] Гафуров Х.Г. Анализ спектральной полосы отдельных импульсов [Текст] / Гафуров Х.Г., Тошходжаев Х.А., Рахматов М.Н. // Политехнический вестник. Таджикского политехнического университета имени академика М.С.Осими, серия: интелект, инновации, инвестиции. - 2018. - №3 (43). - С.36-38.

[14-А] Гафуров Х.Г. Применение синхронизации продольных мод лазеров для формирования многобитной информации [Текст] / Х.Г. Гафуров, Х.А. Тошходжаев, Б.И. Назаров, С.Ф. Абдуллаев // Учёные записки ХГУ им Б. Гафурова. Серия: Естественные и экономические науки. - 2017. - №1(40). - С.93-102.

[15-А] Гафуров Х.Г. Возможности применения волоконного лазера для обработки цифровой информации [Текст] / С.Ф. Абдуллаев, Б.И. Назаров, , М.Н. Рахматов // Учёные записки ХГУ им Б. Гафурова. Серия: Естественные и экономические науки. - 2017. - №4 (43). - С.3-9.

[16-А] Гафуров Х.Г. Гистерезисные эффекты в Ar+ лазера нелинейным поглотителем в резонаторе [Текст] / Х.Г. Гафуров, Д.П. Криндач // Квантовая электроника.- 1985. - Т.12. - № 3. - С.625-627.

[17-А] Гафуров Х.Г. Повышение стабильности генерации непрерывного лазера на красителе с синхронным возбуждением при введении нелинейного поглотителя [Текст] / Х.Г. Гафуров, Д. П. Криндач, В.А. Нехаенко, А.Г. Яковлев // Квантовая электроника. - 1985.- Т.12. - № 6. - С.1279-1282.

[18-А] Гафуров Х.Г. Стационарная пассивная синхронизация мод Ar+ лазера [Текст] / Х.Г. Гафуров, Д. П. Криндач, А.Г. Яковлев // Квантовая электроника. - 1985. - Т.12. - № 7. - С.1503-1510.

[19-А] Гафуров Х.Г. Газоразрядный поглотитель для пассивной

синхронизации мод Ar+ лазера [Текст] / Х.Г. Гафуров, Д.П. Криндач, Б.И. Назаров, А.К. Романюк // Докл. АН Тадж. ССР. - 1984. - Т.27. - № 11. - С.648-651.

[20-А] Гафуров Х.Г. Энергетические характеристики излучения Ar+ лазера в режиме пассивной синхронизации мод [Текст] / Х.Г. Гафуров, Д.П. Криндач, Б.И. Назаров, В.И. Новодережкин // Журнал технической физики. - 1983. - Т.53. - № 8. - С.1536-1540.

Мақолаҳое ки дар нашрияҳои дигар нашр шудаанд:

[21-А] Гафуров Х. Физические основы формирования импульсов сателлит при пассивной синхронизации продольных мод непрерывного лазера [Текст] / Х.Г. Гафуров // Fergana State University Conference, 07. - Retrieved from https://conf.fdu.uz/index.php/conf/article/view/2308 2024, 25.05.2024, 10.30

[22-А] Гафуров Х. Эффективный метод контроля синхронизации продольных мод непрерывного лазера [Текст] / Х.Г. Гафуров // Материалы Республиканской научно-практической конференции с участием зарубежных учёных «Проблемы и перспективы оптики и лазерной физики» Посвященная 80-летию образования Академии наук Республики Узбекистан, 26 октября 2023 года. - Ташкент, 2023. - С.56-57.

[23-А] Гафуров Х. – Применение основного закона оптики для уплотнения информации [Текст] / Х.Г. Гафуров // Материалы Республиканской научно-практической конференции «Современные проблемы физики конденсированных состояний», Посвященной 75-летию со дня основания Таджикского национального университета, Международному году защиты ледников и 80-летию со дня рождения доктора физико – математических наук, профессора Туйчиева Шарофидина (24-25 октября 2023 г.) - Душанбе, 2023. - С.86-90.

[24-А] Гафуров Х. - Исследование области существования пассивной синхронизации мод [Текст] / Х.Г. Гафуров // Маводи конференсияи ҷумҳуриявии илмӣ-амалии «Саҳми олимони фанҳои дақиқ дар рушди саноатикунонии кишвар» бахшида ба “Бистсолаи омӯзиш ва рушди фанҳои табиатшиносӣ, дақиқ ва риёзӣ дар соҳаи илму маориф ” ва 85-солагии аъзо-корреспонденти Академияи муҳандисони Ҷумҳурии Тоҷикистон ва Руссия, профессор Рабеҷонов Набиҷон ва профессор Латипов Ҷалол Латипович. (18-уми октябри соли 2023) . - Хуҷанд,2023. - С.106-109 .

[25-А] Гафуров Х. - Требование режима синхронизации мод непрерывных лазеров [Текст] / Х.Г. Гафуров // Маводи конференсияи ҷумҳуриявии илмӣ-амалии «Саҳми олимони фанҳои дақиқ дар рушди саноатикунонии кишвар» бахшида ба “Бистсолаи омӯзиш ва рушди фанҳои табиатшиносӣ, дақиқ ва риёзӣ дар соҳаи илму маориф ” ва 85-солагии аъзо-корреспонденти Академияи муҳандисони Ҷумҳурии Тоҷикистон ва Руссия, профессор Рабеҷонов Набиҷон ва профессор

Латипов Ҷалол Латипович. (18-уми октябри соли 2023) . - Хуҷанд,2023. - С.58-59.

[26-А] Ғафуров Ҳ. Воҳиди нави ҳаҷми иттилоот ва равандҳои мавҷӣ [Текст] / Х.Г. Гафуров // Маводи конференсияи ҷумҳуриявии илмӣ – амалӣ бахшида ба солҳои 2020-2040 “Бистсолаи омӯзиш ва рушди фанҳои табиатшиносӣ, дақиқ ва риёзӣ дар соҳаи илму маориф” ва солҳои 2022-2026 “ Солҳои рушди саноат” " Рисолати илми физика дар инкишофи техника ва технологияи муосир" 16-17-уми марти соли 2023. - Хуҷанд, 2023. - С. 100-108.

[27-А] Гафуров Х. - К вопросу выбора режима синхронизации мод в лазерах на квантовых точках [Текст] / Х.Г. Гафуров // Материалы Республиканской научно-практической конференции «Развитие и достижения физической науки в годы независимости», посвященной 32-летию Государственной независимости Республики Таджикистан (25-26 августа 2023 г.). - Душанбе: «Дониш», 2023 - С. 113-118.

[28-А] Гафуров Х.Г. Численное моделирование лазерной абляции материалов в образцах конечной толщины [Текст] / И.В. Амирханов, И. Сархадов, З.К. Тухлиев, Х.Г. Гафуров // Материалы Всероссийской конференции с международным участием «Информационно - телекоммуникационные технологии и математическое моделирование высокотехнологических систем» - Москва, РУДН, 2022

[29-А] Гафуров Х.Г. Численное исследование влияния конечной толщины образца на лазерной абляции материалов [Текст] / И.В. Амирханов, И. Сархадов, З.К. Тухлиев, Х.Г. Гафуров // Тезисы докладов 51-й международной Тулиновской конференции по физике взаимодействия заряженных частиц с кристаллами (Москва 24 мая – 26 мая 2022) . - Москва,2022. - стр.42-43

[30-А] Gafurov Kh. - Using mode-locked laser for shaping many bit information [Text] / Kh. Gafurov // Academia Letters, Article 2321. https://doi.org/10.20935/AL2321.

[31-А] Гафуров Х. - Критерии существования стационарного режима пассивной синхронизации мод с насыщающимся усилением [Текст] / Х. Гафуров // Материалы Республиканской научно-практической конференции посвященной "Двадцатилетию изучения и развития естественных , точных и математических наук в сфере науки и образования" на тему " Современные проблемы физики конденсированного состояния и ядерной физика" г.Душанбе, 19 февраля 2020 года. - Душанбе,2020. - С. 43-45.

[32-А] Гафуров Х. - Сокращение длительности импульсов за счёт разницы в условиях насыщения [Текст] / Х. Гафуров // Материалы Республиканской научно-практической конференции посвященной "Двадцатилетию изучения и развития естественных , точных и математических наук в сфере науки и образования" на тему " Современные проблемы физики конденсированного состояния и ядерной физика" г.Душанбе, 19 февраля 2020 года. - Душанбе, 2020. - С. 27-29.

[33-А] Гафуров Х. - Расчет области существования пассивной

синхронизации мод при протяженных активных и пассивных средах [Текст] / Х. Гафуров // Материалы Республиканской научно-практической конференции посвященной "Двадцатилетию изучения и развития естественных , точных и математических наук в сфере науки и образования" на тему " Современные проблемы физики конденсированного состояния и ядерной физика" г.Душанбе, 19 февраля 2020 года.- Душанбе,2020. - стр. 160-163.

[34-А] Ghafurov H. Using mode-locked laser for shaping many bit information // Poster presentation ID: JW2A.39. Joint Poster Session Wednesday. October 2, 2019 from 10:00 AM to 11:30 AM. OSA Laser Congress and Exibition. Austria Center Vienna, Vienna, Austria.

[35-А] Ghafurov H. Laser ablation in solid states with pulse of complex structure // Poster presentation ID: JW2A.41. Joint Poster Session Wednesday. October 2, 2019 from 10:00 AM to 11:30 AM. OSA Laser Congress and Exibition. Vienna, Austria.

[36-А] Гафуров Х. Об одном способе формирования многобитной информации в лазерах с пассивной синхронизацией мод [Текст] / Х. Гафуров Б.И. Назаров, С.Ф. Абдуллаев, М.Н. Рахматов // Материалы международной конференции "Актуальные проблемы современной физики" посвященной 80 - летию памяти Заслуженного деятеля науки и техники Таджикистана, доктора физико - математических наук, профессора Нарзиева Бозора Нарзиевича, 18 апреля 2018 года. - Душанбе,2018. - стр. 283-285.

[37-А] Гафуров Х. - Спектральный анализ периодических импульсов сложной структуры [Текст] / Х. Гафуров // Материалы международной конференции "Актуальные проблемы современной физики" посвященной 80 - летию памяти Заслуженного деятеля науки и техники Таджикистана, доктора физико-математических наук, профессора Нарзиева Бозора Нарзиевича, 18 апреля 2018 года. - Душанбе,2018. - стр.203-208.

АННОТАТСИЯИ

диссертатсияи Муродӣ Ҳалимҷон Ғафурзода дар мавзӯи "Асосҳои физикии идоракунии тавсифҳои вақтии лазерҳои бефосила бо фурӯбарандаи сершаванда андаруни резонатор", ки барои дарёфти дараҷаи илмии доктори илмҳои физика ва математика аз рӯйи ихтисоси 01.04.07 - физикаи ҳолатҳои конденсӣ пешниҳод шудааст.

Калимаҳои калидӣ: лазер, тақвият, фурӯбарӣ, резонатор, модҳои тӯлӣ, синхронизатсия, импулси рӯшноӣ, давомнокӣ, давр, фаъол, нофаъол, тавоноӣ, энергия.

Мақсади кор таҳқиқи асосҳои физикии таъмини самаранокии баланди реҷаи тавлиди импулсҳои рӯшноӣ, ҳангоми истифодаи фурӯбарандаи сершаванда андаруни резонатор, дар лазерҳои бефосила иборат буд. Муқаррар кардани меъёри интихоби фурӯбарандаи сершаванда, дар асоси таҳқиқи қонуниятҳои таъсири параметрҳои геометрии резонатор ва хусусиятҳои оптикии фурӯбарандаи сершаванда ба тавсифҳои вақтӣ, энергетикӣ ва минтақаи мавҷудияти реҷаи синхронизатсия. Муайян кардани таносуби тавсифҳои вақтӣ ва спектрии шуои лазери бефосила дар ҳолати синхронизатсияи модҳо ва механизми устуворii баланди сохтори мураккаби вақтӣ, барои татбиқи амалии онҳо.

Усулҳои таҳқиқот ва дастгоҳи истифодашуда. Маводи таҳқиқот аз маълумотҳои таҷрибавӣ ва назариявии реҷаи тавлиди пайдарпаии даврии импулсҳои рӯшноии фавқулкӯтоҳ бо лазерҳои бефосила дар асоси ионҳои аргон ва маҳлули рангкунандаи родамин 6Ж бо фурӯбарандаи сершаванда андаруни резонатор иборат аст. Ҳисобҳои рақамӣ дар БЭСМ-6 бо истифодаи забони барномасозии ФОРТРАН бо истифодаи усули Рунге Кута гузаронида шуданд.

Натиҷаҳои бадастомада ва навоварии илмӣ аз он иборат аст, ки вобастагии хусусиятҳои вақтӣ, энергетикӣ ва устуворii шуои лазерӣ дар ҳолати синхронизатсияи нофаъоли статсионарии модҳо аз фарқияти шароити сершавии муҳити тақвиятдиҳанда ва фурӯбаранда, ки ҳамчун параметри S баробар ба таносуби энергияи сершавии тақвиятдиҳанда ба энергияи сершавии фурӯбаранда муайян карда шудааст. Мавҷудияти ҳадди реҷаи синхронизатсияи нофаъоли модҳо аз рӯйи параметри S ошкор карда шуд ва шарти $S>S_{min}$ ҳамчун меъёри интихоби фурӯбарандаи сершаванда тартиб дода шудааст. Бори нахуст имконияти мавҷудияти импулсҳои фавқулкӯтоҳи шуои лазер дар асоси маҳлули рангкунанда, дар реҷаи синхронизатсияи омехтаи модҳо дар соҳаи тафовути манфии дарозии резонаторҳо, таҷрибавӣ, нишон дода шуд.

Тавсияҳо оид ба истифодаи онҳо. Барои амали самараноки фурӯбарандаи сершаванда андаруни резонатори лазер шарти ($\sigma_п$ / $\sigma_у$> 1) - ро таъмин кардан лозим аст. Муайян карда шудааст, ки сохтори мураккаби вақтии шуои лазерӣ бо синхронизатсияи якчанд гурӯҳҳои модҳои тӯлӣ алоқаманд аст ва метавонад барои баланд бардоштани самаранокии раванди аблятсия ва фишурдани иттилоот истифода шавад.

Доираи татбиқ. Натиҷаҳои кор дар таҳияи системаҳои тавлиди импулсҳои шуои фавқулкӯтоҳ дар лазерҳо бо фурӯбарандаи сершаванда андаруни резонатор, коркарди маводҳо бо усули аблятсия ва системаҳои иттилоотӣ аҳамияти амалӣ доранд. Онҳо инчунин метавонанд дар таҳқиқоти илмӣ ва хондани лексияҳои физикаи лазерӣ истифода шаванд.

АННОТАЦИЯ

диссертации Муроди Халимджон Гафурзода, на тему «Физические основы управления временных характеристик в непрерывно действующих лазерах с насыщающимся поглотителем внутри резонатора», представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.07 - физика конденсированного состояния.

Ключевые слова: лазер, усиление, поглощение, резонатор, продольные моды, синхронизация, световой импульс, длительность, период, активная, пассивная, насыщение, энергия.

Целью настоящей работы являлось исследование физических основ, создания высокой эффективности режима генерации световых импульсов при использовании насыщающегося поглотителя внутри резонатора в лазерах непрерывного действия. Исследовать область существования, определить закономерности влияния геометрических параметров резонатора и оптических характеристик насыщающегося поглотителя на временные и энергетические характеристики излучения для установления критерия выбора насыщающегося поглотителя. Рассчитать корреляцию временных и спектральных характеристик излучения непрерывного лазера в режиме синхронизации мод и определить механизм высокой стабильности сложной временной структуры для их практического применения.

Методы исследования и использованный аппарат. Материал исследования состоит из экспериментальных и теоретических данных режима генерации периодической последовательности сверхкоротких световых импульсов непрерывными лазерами на основе ионов аргона и раствора органического красителя Родамин 6Ж с насыщающимся поглотителем внутри резонатора. Численные расчеты были проведены на БЭСМ-6 использованием языка программирования ФОРТРАН с применением метода Рунге-Кута.

Полученные результаты и их научная новизна заключаются в том, что экспериментально получена зависимость временных и энергетических характеристик и стабильности излучения лазера, в режиме стационарной пассивной синхронизации мод от разницы в условиях насыщения усиливающих и поглощающих сред, определяемой как параметр S, равной отношению энергии насыщения усилителя к энергии насыщения поглотителя. Обнаружено существование порога режима пассивной синхронизации мод по параметру S и условие $S>S_{min}$ сформулировано как критерий выбора насыщающегося поглотителя. Впервые экспериментально показана возможность существования коротких световых импульсов излучения лазера на красителе в режиме комбинированной синхронизации мод в области отрицательного рассогласования длины резонаторов.

Рекомендации по их использованию. Для эффективного действия насыщающегося поглотителя внутри резонатора лазера необходимо обеспечить условие ($\sigma_п/\sigma_у>1$). Установлена, что сложная временная структура излучения лазера, свя-зана с синхронизацией нескольких групп продольных мод и могут применяться для повышения эффективности процесса абляции и уплотнения информации.

Область применения. Результаты работы имеют практическое значение при разработке систем генерации сверхкоротких световых импульсов в лазерах с насыщающимся поглотителем внутри резонатора, в обработке материалов методом абляции и информационных системах. Также их можно использовать в научных исследованиях и чтении лекций по лазерной физике.

ABSTRACT

dissertation of Murodi Halimjon Ghafurzoda, on the theme "Physical fundamentals of time characteristics control in continuously operating lasers with a saturable absorber inside a resonator", submitted for the degree of Doctor of Physical and Mathematical Sciences in the specialty 01.04.07 - condensed state physics.

Keywords: laser, amplification, absorption, resonator, longitudinal modes, mode-locking, light pulse, duration, period, active, passive, saturation, energy.

The purpose of this work was to study the physical foundations of creating a high-efficiency mode for generating light pulses when using a saturable absorber inside a resonator in continuous-action lasers. To investigate the field of existence, to determine the regularities of the influence of the geometric parameters of the resonator and the optical characteristics of the saturable absorber on the time and energy characteristics of radiation in order to establish the criterion for choosing a saturable absorber. To calculate the correlation of the temporal and spectral characteristics of continuous laser radiation in the mode locked regime and to determine the mechanism of high stability of a complex time structure for their practical application.

Research methods and the apparatus used. The research material consists of experimental and theoretical data on the mode of generation of a periodic sequence of ultrashort light pulses by continuous lasers based on argon ions and a solution of the organic dye Rhodamine 6J with a saturable absorber inside the resonator. Numerical calculations were performed on BESM-6 using the FORTRAN programming language using the Runge-Kut method.

The results obtained and their scientific novelty lie in the fact that the dependence of the time and energy characteristics and stability of laser radiation in the mode of stationary passive mode locked regime on the difference in saturation conditions of amplifying and absorbing media, defined as parameter S, equal to the ratio of the saturation energy of the amplifier to the saturation energy of the absorber, has been experimentally obtained. The existence of a threshold for the mode of passive mode locked regime with respect to the parameter S is revealed and the condition S>Smin is formulated as a criterion for choosing a saturable absorber. For the first time, the possibility of the existence of short light pulses of dye laser radiation in the mode of combined mode locked regime in the region of negative mismatch of the resonator length has been experimentally shown.

Recommendations for their use. For the effective action of the saturable absorber inside the laser resonator, it is necessary to provide the condition ($\sigma n / \sigma y > 1$). It has been established that the complex temporal structure of laser radiation is associated with the mode locked regime of several groups of longitudinal modes and can be used to increase the efficiency of the ablation process and information consolidation.

The scope of application. The results of the work are of practical importance in the development of systems for generating ultrashort light pulses in lasers with a saturable absorber inside the resonator, in the processing of materials by ablation and information systems. They can also be used in scientific research and lectures on laser physics.