

УТВЕРЖДАЮ:



Заместитель декана физического факультета  
МГУ имени М.В. Ломоносова

профессор А.А. Федянин

«02» декабря 2015 г.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова», физический факультет

Диссертация «Параметрические процессы в твердотельном кольцевом лазере с несимметричной связью встречных волн» выполнена на кафедре оптики, спектроскопии и физики наносистем физического факультета МГУ имени М.В.Ломоносова. В период подготовки диссертации соискатель Дудецкий Вадим Юрьевич являлся аспирантом Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова», физический факультет. В 2013 году закончил аспирантуру физического факультета МГУ имени М.В.Ломоносова по специальности «оптика». Удостоверение о сдаче кандидатских экзаменов выдано в 2014 г. Федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего профессионального образования «Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова», физический факультет. Научный руководитель Ларионцев Евгений Григорьевич, д.ф.-м.н., профессор, ведущий научный сотрудник, основное место работы: Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В. Скобельцына.

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

Диссертационная работа Дудецкого В.Ю. посвящена изучению на основе численного моделирования параметрических процессов в твердотельных кольцевых лазерах (ТКЛ). Исследуемые в диссертации автомодуляционные колебания оптического излучения обусловлены процессами интерференции встречных волн, рассеянием света на неоднородностях в активной среде и на зеркалах резонатора, а также брегговскими отражениями на решетках показателя преломления и усиления, возникающими при интерференции встречных волн. Эти процессы отличаются высокой чувствительностью к тепловым и механическим деформациям резонатора ТКЛ и приводят к нестабильности частоты автомодуляционных колебаний. При несимметричной оптической связи встречных волн в результате взаимодействия автомодуляционных и релаксационных колебаний оптического излучения возникает ряд периодических и квазипериодических автомодуляционных режимов и имеет место оптическая бистабильность.

Целями диссертационной работы Дудецкого В.Ю. являются: изучение возможностей стабилизации автомодуляционных колебаний в ТКЛ при воздействии периодического сигнала, модулирующего мощность накачки; анализ влияния шума на процесс синхронизации автомодуляционных колебаний оптического излучения; исследование оптической бистабильности, возникающей в области параметрического резонанса между автомодуляционными и релаксационными колебаниями излучения.

**Актуальность и новизна** проведенных исследований обусловлена широкими возможностями применения ТКЛ в качестве источников высокостабильного оптического излучения в метрологии, навигации, квантовой и нелинейной оптике и т.д. Повышение стабильности автомодуляционных колебаний оптического излучения в монолитных ТКЛ, достигаемое при их синхронизации высокостабильным периодическим сигналом, является актуальной задачей и ее успешное решение расширяет возможности использования таких лазеров в качестве источников бигармонических колебаний. Изучение сложной динамики двунаправленной генерации ТКЛ и процессов синхронизации автомодуляционных колебаний оптического излучения имеет также фундаментальное значение и играет важную роль в изучении нелинейной динамики систем различной природы.

В диссертации впервые исследована синхронизация автомодуляционных колебаний оптического излучения в условиях параметрического резонанса между автомодуляционными и релаксационными колебаниями. Найдены новые режимы синхронизации. Исследованы явления синхронизации и десинхронизации при наличии шумовой составляющей в модулирующем сигнале. Из-за сложности нелинейной динамики ТКЛ, до настоящего времени оставался неизученным ряд вопросов, связанных с параметрическим взаимодействием автомодуляционных и релаксационных колебаний, например, возможность существования бистабильных автомодуляционных режимов в области параметрического резонанса. В диссертации найдены и исследованы две ветви бистабильных автомодуляционных режимов генерации в области параметрического резонанса между автомодуляционными и релаксационными колебаниями.

#### **Основные новые результаты диссертационной работы:**

1. Обнаружены и исследованы новые режимы синхронизации автомодуляционных колебаний оптического излучения, возникающие в ТКЛ под воздействием внешнего периодического сигнала, модулирующего мощность накачки: квазипериодический режим синхронизации и периодический режим синхронизации с удвоенным периодом модуляции излучения.
2. Показано, что в области параметрического резонанса между автомодуляционными и релаксационными колебаниями существуют две бистабильные ветви синхронизации автомодуляционных колебаний оптического излучения.
3. Установлено, что при воздействии на автомодуляционные колебания ТКЛ периодического сигнала и шума, шумовая модуляция, в случае синхронизации порядка  $1/2$ , может способствовать синхронизации автомодуляционных колебаний с частотой периодического сигнала.
4. Исследована оптическая бистабильность в автономном ТКЛ с несимметричной связью встречных волн. Найдены две ветви бистабильных состояний. На первой ветви наблюдаются периодические режимы автомодуляции оптического излучения: автомодуляционный режим первого рода и режим с удвоенным периодом. Для второй ветви характерна более сложная динамика оптического излучения: с ростом превышения накачки над порогом генерации квазипериодический автомодуляционный режим переходит в режим динамического хаоса, далее происходит переход в периодический автомодуляционный режим с удвоенным периодом, и затем в автомодуляционный режим первого рода.

Полученные В.Ю. Дудецким новые результаты, касающиеся синхронизации автомодуляционных колебаний в ТКЛ с несимметричной связью встречных волн, а также вывод о конструктивном вкладе шума в процессе синхронизации автомодуляционных колебаний порядка  $1/2$  подтверждены экспериментально.

Содержание диссертации полностью отражено в 8 публикациях: в 3 статьях в

реферируемых российских журналах и в тезисах 5 докладов на международных конференциях.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

**Статьи в рецензируемых журналах:**

1. В.Ю. Дудецкий. Бистабильность автомодуляционных колебаний в автономном твердотельном кольцевом лазере, Квантовая электроника, 43, с. 1024 (2013).
2. В.Ю. Дудецкий, Е.Г. Ларионцев, С.Н. Чекина. Синхронизация автоколебаний в твердотельном кольцевом лазере при модуляции накачки в области параметрического резонанса между автомодуляционными и релаксационными колебаниями. - Квантовая электроника, 44, с.23 (2014).
3. В.Ю. Дудецкий, Е.Г. Ларионцев, С.Н. Чекина. Синхронизация и десинхронизация автомодуляционных колебаний в кольцевом чип-лазере под воздействием периодического сигнала и шума. – Квантовая электроника, 44, с. 806 (2014)

Все вышеперечисленные опубликованные работы соответствуют теме диссертации и полно отражают её содержание, а сама диссертация соответствует специальности 01.04.05 – оптика.

**Личный вклад автора.** Все результаты диссертационной работы, базирующиеся на численном моделировании динамики излучения, оптических процессов рассеяния, синхронизации и интерференции внутрирезонаторных полей встречных волн, получены самим автором. Он принимал также непосредственное участие в обсуждениях экспериментов, проводившихся с целью проверки результатов численного моделирования, и в подготовке полученных результатов к публикации.

**Достоверность** полученных результатов и выводов определяется их хорошим согласием с экспериментальными исследованиями, проведенными с целью их проверки. Проведенное в диссертации численное моделирование основано на теоретической модели, адекватность которой подтверждена многочисленными исследованиями. Это позволяет считать все полученные результаты полностью обоснованными и достоверными.

Основные результаты диссертационной работы докладывались Дудецким В.Ю. на научных семинарах кафедры оптики, спектроскопии и физики наносистем физического факультета МГУ. Полученные в диссертации результаты Дудецкий В.Ю. представил на двух очных международных конференциях и трех заочных конференциях, а именно:

1. Международная конференция IONS-9 Salamanca (Саламанка, 2011) "Synchronization of periodic and quasi-periodic oscillations in solid-state ring laser external signals", V.Y. Dudetskiy, Lomonosov, Moscow State Univ. (Russia).

Электронный ресурс:

[http://www.opfocus.net/index.php?id=4&topic=ions9\\_programme](http://www.opfocus.net/index.php?id=4&topic=ions9_programme).

2. Международная конференция IONS-12 (Naples Неаполь, 2012) Vadim Dudetskiy. Influence of the resonator amplitude nonreciprocity on the self-modulations regimes of the generation solid-state ring laser.

Электронный ресурс:

[http://www.opfocus.net/index.php?id=4&topic=ions12\\_programme](http://www.opfocus.net/index.php?id=4&topic=ions12_programme)

3. Дудецкий В.Ю. Синхронизация автоколебаний в твердотельном кольцевом лазере при модуляции накачки вблизи и в области параметрического резонанса между автомодуляционными и релаксационными колебаниями. Сборник научных трудов международной научно-практической конференции «Инновации в науке», издательский дом «Научное обозрение», Москва, 2015.— С. 91-108.

4. Дудецкий В.Ю. Синхронизация и десинхронизация автомодуляционных колебаний в кольцевом чип-лазере под действием периодического сигнала и шума. Сборник статей по материалам XXXIV международной научно-практической конференции «Естественные и

математические науки в современном мире», «СибАК», г. Новосибирск, Россия, 2015. — С. 31-44.

5. Дудецкий В.Ю. Бистабильность автомодуляционных колебаний в автономном твердотельном кольцевом лазере. Сборник статей по материалам XXXIV международной научно-практической конференции «Естественные и математические науки в современном мире», «СибАК», г. Новосибирск, Россия, 2015. — С. 16-27.

**Практическая значимость.** Результаты проведенных исследований показывают, что нестабильностью автомодуляционных колебаний лазерного излучения, обусловленной оптическими процессами рассеяния света и интерференцией встречных волн, можно эффективно управлять с помощью модуляции накачки высокостабильным периодическим сигналом. Проведенные в диссертации исследования позволяют повысить стабильность частоты автомодуляционных колебаний. Полученные результаты расширяют возможности использования таких лазеров в качестве источников бигармонических колебаний.

Диссертация «Параметрические процессы в твердотельном кольцевом лазере с несимметричной связью встречных волн» Дудецкого Вадима Юрьевича рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05 – оптика.

Заключение принято на заседании кафедры оптики, спектроскопии и физики наносистем физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова.

Присутствовало на заседании 21 чел. Результаты голосования: «за» - 21 чел., «против» - 0 чел., «воздержалось» - 0 чел., протокол №12 от «13» октября 2015 г.

Заместитель заведующего кафедрой оптики, спектроскопии  
и физики наносистем  
профессор

П. В. Короленко

Ученый секретарь кафедры оптики, спектроскопии  
и физики наносистем  
доцент

О. М. Вохник

Заключение рассмотрено и утверждено на заседании Ученого совета Отделения экспериментальной и теоретической физики физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова,

Протокол 2 от «17» ноября 2015 г.

Заведующий Отделением экспериментальной  
и теоретической физики  
профессор

Б. И. Садовников

Ученый секретарь Отделения экспериментальной  
и теоретической физики  
доцент

Б. И. Волков