

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

доктора физико-математических наук, профессора Нания Олега Евгеньевича о диссертации Егорова Федора Андреевича на тему: «Взаимодействие микрооптомеханических резонансных систем с лазерным излучением», представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.03 «Радиофизика»

Актуальность. Диссертационная работа Егорова Ф.А. посвящена развитию нового научно-технического направления, связанного с разработкой методов и устройств управления параметрами оптического излучения, в которых ключевую роль играет оптомеханическое взаимодействие. Это направление, имеющее междисциплинарный характер, сформировалось в последние годы на стыке таких областей как мехатроника, волоконная оптика и лазерная физика. Поэтому актуальность диссертационной работы «Взаимодействие микрооптомеханических резонансных систем с лазерным излучением» несомненна, а полученные Егоровым Ф.А. результаты открывают новые возможности развития фундаментальных и прикладных исследований в таких областях как оптическая обработка информации; квантовая макрофизика и оптика; мезоскопика; физическое материаловедение и информационно-измерительные системы.

Основные научные результаты, полученные автором, и их новизна.

В оптических резонаторах в условиях накачки когерентным (лазерным) излучением оптомеханическое взаимодействие приводит к эффективному обмену энергией между оптическими и механическими модами, что, в свою очередь, приводит к автоколебаниям и преобразованию спектра излучения, к динамическому «охлаждению» механической моды, к проявлениям квантовых свойств в макроскопической системе и к другим интересным эффектам. В диссертационной работе Егорова Ф.А. показано, что, в силу чрезвычайно высокой чувствительности лазерного источника к обратно отраженному

(рассеянному) излучению необходимо учитывать оптическую связь пассивного резонатора с лазерным источником.

В диссертационной работе развита теория взаимодействия микрооптомеханических резонансных систем (микроосцилляторов) с лазерным излучением с учетом обратного влияния микроосциллятора на лазерный источник; теоретически и экспериментально исследованы процессы лазерного возбуждения упругих волн и колебаний в микроосцилляторах разных типов; исследована динамика сложных систем на основе микроосцилляторов, взаимодействующих с лазерным излучением в условиях внутренних резонансов в лазерной системе. Показано, что оптическая связь приводит не только к существенному изменению условий возбуждения автоколебаний, но также к появлению качественно новых особенностей в динамике рассматриваемых лазерных систем.

В ряду наиболее важных новых результатов диссертационной работы Егорова Ф.А. хочу отметить следующие:

1. Разработана «гидродинамическая» модель взаимодействия микросветовода с распространяющимся излучением, основанная на аналогии между движением идеальной жидкости в трубопроводе и распространением оптического излучения в световоде, которая является значительным вкладом в теорию микросветоводов. Получены приближенные уравнения, описывающие статическую и динамическую неустойчивости световодов, показана возможность оптического возбуждения изгибных колебаний за счет модуляции изгибной жесткости световода при модуляции интенсивности излучения с частотой параметрического резонанса.
2. Разработаны теоретические основы и методы создания нового класса волноводных (волоконных) микрооптомеханических резонансных систем, в которых оптомеханическое взаимодействие обусловлено интерференцией света в волоконных структурах (single-mode – multimode – single-mode – соединения одномодовых и многомодовых световодов); туннелированием

света из волокна; межмодовым взаимодействием в двухмодовых и многомодовых волокнах с макро-(микро)изгибами; эффектом «краевого» резонанса в торцевой области упругого прозрачного круглого стержня – ступенчатого многомодового световода.

3. Установлено существование в лазерных системах с микроосцилляторами режимов синхронных автоколебаний, приводящих к регулярной, устойчивой модуляции интенсивности, направления поляризации, диаграммы направленности лазерного излучения с частотой собственных упругих колебаний микроосциллятора. Полученные результаты являются существенным вкладом в разработку методов управления параметрами лазерного (когерентного) излучения и открывают потенциальные возможности для создания источников когерентного излучения с комбинированным характером модуляции параметров излучения.
4. Показана возможность стабилизации частоты лазерных импульсов с помощью микроосцилляторов (аналог «кварцевой» стабилизации в радиотехнике), установлены основные дестабилизирующие факторы (нестабильность накачки, параметров оптического резонатора, внешние воздействия). Исследование эффектов, обусловленных влиянием спонтанного излучения в активной среде на параметры автоколебаний позволило установить, что пассивная модуляция спонтанного времени жизни метастабильного уровня позволяет повысить стабильность частоты синхронных автоколебаний. Продемонстрирована возможность реализации в волоконных лазерах с микроосцилляторами (с механической добротностью $Q = 200$) высокостабильных синхронных автоколебаний с кратковременной относительной нестабильностью частоты лазерных импульсов, не превышающей $2 \cdot 10^{-6}$.
5. Установлено, что модуляция накачки в волоконных лазерах с микроосцилляторами в условиях параметрического резонанса повышает чувствительность лазерной системы к вынужденным резонансным

колебаниям микроосциллятора. Это открывает перспективы создания нового типа резонансных ВОД, основанных на измерении параметров термофлуктуационных колебаний микроосцилляторов, обладающих предельно малой составляющей погрешности, обусловленной неизохронностью резонансных колебаний микроосцилляторов.

Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и результатов исследований обеспечена:

- проведением комплексного анализа решаемых проблем с применением апробированных теоретических и экспериментальных методов исследований
- корректным выбором обоснованных допущений, приближений, отвечающим целям и задачам исследования
- использованием адекватных физико-математических моделей изучаемых процессов, явлений
- согласием результатов теоретических исследований, численного моделирования с экспериментальными данными, полученными с помощью различных методик измерений с использованием современных высокоточных измерительных средств
- непротиворечивостью известным научным положениям и фактам.

Практическая значимость полученных автором результатов.

Результаты исследований служат основой для разработки новых методов и устройств для управления режимами генерации и параметрами когерентного (лазерного) излучения; создания новых типов волоконных модуляторов, управляемых светом; нового класса резонансных волоконно-оптических датчиков (ВОД) физических величин, характеризующихся высокой помехоустойчивостью и большим динамическим диапазоном измерений.

В работе предложены принципы построения и созданы многоканальные измерительные системы на основе ВОД давления, температуры, деформаций и

др., которые успешно прошли апробацию в промышленности в качестве контрольно-измерительных средств в системах мониторинга технического состояния строительных сооружений.

Оформление диссертации. Диссертация оформлена в соответствии с требованиями ВАК РФ. Материал изложен логичным, доступным для понимания языком. Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

Замечания по диссертации.

По диссертационной работе Егорова Ф.А. имеются следующие замечания:

1. В классе волноводных микрооптомеханических резонансных систем основное внимание уделено разработкам и исследованию именно оптоволоконных микроосцилляторов, тогда как вопросы, связанные с возможностью создания и с исследованием свойств микроосцилляторов в интегрально-оптическом исполнении, на наш взгляд, изучены недостаточно.
2. При анализе динамики состояния поляризации в лазерных системах с оптоволоконными микроосцилляторами следовало бы оценить эффекты, обусловленные возбуждением также крутильных колебаний в микроосцилляторах, т.к. известно, что кручение оптического волокна приводит к появлению дополнительного двулучепреломления из-за фотоупругости.
3. Замечание, имеющее характер рекомендации и касается принципа действия предложенного в работе автоматического стабилизатора мощности накачки волоконных лазеров: при расчете оптимальных параметров такого стабилизатора оптической мощности следует учитывать эффекты, обусловленные дифракцией света на границе металлической и полупроводниковой фаз в пленках двуокиси ванадия (VO_2).

Оценка работы, заключение.

Диссертационная работа Егорова Ф.А. «Взаимодействие микрооптомеханических резонансных систем с лазерным излучением» представляет собой завершённую научно-исследовательскую работу на актуальную тему. Новые результаты, полученные диссертантом, имеют большое научное и практическое применение. Выводы диссертации хорошо обоснованы и не вызывают сомнений. Автореферат диссертации правильно и точно отражает содержание диссертационной работы, а сама она отвечает критериям Положения о порядке присуждения ученых степеней, предъявляемых ВАК РФ к диссертациям, представленным на соискание ученой степени доктора физико-математических наук. Автор, Егоров Ф.А., заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.03 «Радиофизика».

Официальный оппонент
профессор физического факультета МГУ
имени М.В. Ломоносова
д.ф.-м.н., профессор

О.Е. Наний

«29» мая 2017 г.

Декан физического факультета
МГУ имени М.В. Ломоносова
д.ф.-м.н., профессор



Н.Н. Сысоев

«29» мая 2017 г.

Почтовый адрес: 119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, МГУ, д. 1, стр. 2, Физический факультет; тел. +7(495) 939-31-60.