

1. **Наименование темы работы:** Физическая платформа нелинейных фотонных технологий и систем.

2. **Состав коллектива исполнителей:**

зав.ОЛФиИТ НГУ, д.ф.-м.н., с.н.с Кобцев Сергей Михайлович

проф. Турицын Сергей Константинович (ведущий учёный)

к.ф.-м.н. Смирнов Сергей Валерьевич

к.ф.-м.н. Кукарин Сергей Владимирович

к.ф.-м.н. Нюшков Борис Николаевич

к.ф.-м.н. Иваненко Алексей Владимирович

к.ф.-м.н. Федотов Юрий Сергеевич

студенты (6 чел.)

Контактное лицо

Смирнов Сергей Валерьевич, с.н.с. ОЛФиИТ, к.ф.-м.н. тел. 363-41-65, моб. 8-9232228007.

Кобцев Сергей Михайлович, зав. ОЛФиИТ НИЧ НГУ, д.ф.-м.н., тел. 363-42-65.

3. **Научное содержание работы**

4.3 Для моделирования лазерной генерации в рамках проводимой работы используются модели на основе скалярного нелинейного уравнения Шрёдингера, а также системы уравнений Шрёдингера на компоненты поляризации поля оптической волны. Кроме того, обобщённое нелинейное уравнение Шрёдингера используется для моделирования нелинейно-оптических преобразований лазерного излучения в нелинейном оптическом волокне (ВКР-преобразование, генерация суперконтинуума). Для интегрирования уравнения Шрёдингера используется метод Фурье расщепления по физическим процессам (step-split Fourier method). При этом каждое вычислительное ядро кластера НГУ используется для проведения независимых расчётов с фиксированным набором параметров; использование большого количества вычислительных ядер позволяет, таким образом, получить зависимость свойств лазерной генерации от параметров задачи при 100% эффективности распараллеливания вычислительной задачи.

Кроме того, авторами проекта был предложен и реализован новый подход к описанию пассивной синхронизации мод, основанный на системе обыкновенных дифференциальных уравнений, описывающих эволюцию параметров импульса при его распространении по резонатору. Использование системы обыкновенных дифференциальных уравнений вместо уравнений в частных производных позволило повысить скорость численного счёта более чем на порядок величины.

4.4 За отчётный период получены следующие основные научные результаты: разработана новая модель на основе нелинейного уравнения Шрёдингера, позволяющая описывать спектральные и временные свойства генерации в лазерах со случайной распределённой обратной связью за счёт Рэлеевского рассеяния; продемонстрирован и исследован в численном моделировании ламинарно-турбулентный переход в волоконных лазерах на основе вынужденного комбинационного рассеяния; исследована эффективность нелинейно-оптических преобразований лазерного излучения, полученного в различных режимах генерации волоконных лазеров с пассивной синхронизацией мод на основе эффекта нелинейного вращения поляризации; продемонстрирована более высокая эффективность нелинейно-оптических преобразований для двухмасштабных частично когерентных лазерных импульсов по сравнению с «обычными» одномасштабными лазерными импульсами; предложена новая схема лазера с пассивной синхронизацией мод, в которой вместо контроллеров поляризации используются ЖК-элементы фазовой задержки, и исследована лазерная генерация в данной схеме; продемонстрировано большое разнообразие режимов лазерной генерации в лазерах с пассивной синхронизацией мод на основе эффекта нелинейного вращения поляризации; показано, что энергия и длительность импульсов могут варьироваться на порядок величины и более за счёт подстройки внутрирезонаторных элементов фазовой задержки; исследовано слабонелинейное сжатие лазерных импульсов в оптических волокнах, получено ограничение на мощность сжимаемых импульсов и оптимальная длина компрессирующего волокна.

4.5 Иллюстрации

Fig 1. Обложка журнала Nature Photonics (импакт-фактор WoS 29.958) v. 7, N10 2013 г. с иллюстрацией из работы коллектива по турбулентно-ламинарному переходу.

Fig 2. Связь относительной эффективности генерации второй гармоники с rms-длительностью лазерных импульсов в различных режимах генерации волоконных лазеров с пассивной синхронизацией мод на основе эффекта нелинейного вращения поляризации;

5. Эффект от использования кластера

Использование кластера для решения задач НИР позволило существенно расширить возможности численного моделирования, что обусловлено высокой вычислительной сложностью решаемых задач. Проводимые расчёты основаны на решении системы связанных обобщённых нелинейных уравнений Шрёдингера (НУШ), описывающих эволюцию двух компонент поляризации оптического импульса в лазерном резонаторе. Система НУШ интегрируется вдоль кольцевого лазерного резонатора. Интегрирование проводится многократно, от нескольких сотен до нескольких десятков тысяч раз

(до установления режима лазерной генерации) или даже сотен тысяч раз (для проверки стабильности режимов генерации). При этом интегрирование проводится для большого числа различных параметров настройки волоконных контроллеров поляризации, что обуславливает необходимость в большом количестве вычислительных ресурсов. Решение такой задачи на обычных персональных компьютерах крайне проблематично даже для одного набора физических параметров лазерной системы с относительно коротким (~5 м) резонатором. При увеличении длины резонатора вычислительная сложность задачи возрастает нелинейно, что связано с одновременным увеличением длины волокна (области интегрирования НУШ), ростом длительности лазерных импульсов за счёт хроматической дисперсии групповых скоростей и увеличением энергии импульсов. Использование кластера ИВЦ НГУ обеспечило уникальную возможность проведения серии расчётов для лазерных систем с различной длиной резонатора – от 2 м до 1 км, что позволило получить целый ряд новых важных научных и практических результатов.

6. Публикации по теме работы, награды, гранты, проекты

Награды и гранты:

- ✓ Грант Президента Российской Федерации молодым учёным – кандидатам наук «Высокостабильные волоконные лазерные системы нового поколения для генерации сверхкоротких импульсов» (МК-4683.2013.2, рук. С.В. Смирнов).
- ✓ Мегагрант по ПП 220 «Физическая платформа нелинейных фотонных технологий и систем» (14.В25.31.0003, рук. С.К. Турицын, со-рук. С.М. Кобцев).
- ✓ Базовая часть гос. задания «Физика новых волоконных импульсных лазерных систем» (рук. С.В. Смирнов).
- ✓ Проектная часть гос. задания «Физика высокоэнергичных волоконных задающих генераторов с синхронизацией мод излучения» (проект №3.162.2014/К), 2014-2016, рук. С.М. Кобцев.
- ✓ Грант для поддержки молодых преподавателей физического факультета НГУ (С.В. Смирнов).
- ✓ Грант ФЦП "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России": «Разработка перспективных компактных систем терагерцовой спектроскопии на основе высокоэффективного преобразования фемтосекундных импульсов волоконных лазеров», 2012-2013.
- ✓ Совет по грантам Президента Российской Федерации: «Спектроскопия и фотоника наноструктур, волоконных световодов и газовых сред», грант Президента РФ НШ-НШ-4447.2014.2, 2014-2015 гг., (ведущая научная школа РФ чл.-корр. РАН А.М.Шалагина).

- ✓ Медаль «За заслуги перед Новосибирским государственным университетом» (С.М. Кобцев, С.В. Кукарин)
- ✓ Почётная грамота за многолетний добросовестный труд на благо университета в связи с 55-летием со дня основания НГУ (С.В. Смирнов).

Защиты диссертаций (с даты предыдущего отчёта 31.03.2012):

1. Ю.С. Федотов "Исследование режимов генерации диссипативных солитонов в волоконных иттербиевых лазерах", диссертация на соискание ученой степени канд. физ.-мат. наук по специальности 01.04.21 "Лазерная физика", научный руководитель - д.ф.-м.н. С.М.Кобцев. Работа выполнена в ОЛФиИТ НГУ, защита состоялась 17.10.2014 в диссертационном совете ИЛФ СО РАН.

Основные публикации по теме работы за 2014-2012 гг

(научные статьи, индексируемые Scopus, и патенты; с даты предыдущего отчёта)

1. S. Kobtsev, S. Kukarin, S. Smirnov, and I. Ankudinov, "Cascaded SRS of single- and double-scale fiber laser pulses in long extra-cavity fiber," *Optics Express* **22** (17), 20770-20775 (2014). Импакт-фактор WoS: 3.525.
2. S. Kobtsev, S. Smirnov, S. Kukarin, S. Turitsyn, "Mode-locked fiber lasers with significant variability of generation regimes," *Optical Fiber Technology* **20** (6), 615-620 (2014). Импакт-фактор WoS: 1.188.
3. S.Kobtsev, S.Smirnov, S.Khripunov, D.Radnatarov, S.Kukarin, A.Ivanenko. "Self-start of passively mode-locked ring fibre oscillator as a function of pump power." *Proc. SPIE*, v. 9135, "Laser Sources and Applications II", 913522 (2014). Индексируется Scopus.
4. S.Kobtsev, S.Smirnov, S.Kukarin, A.Ivanenko. "Extent of parameter variability for different pulses from a passively mode-locked fibre laser." *Proc. SPIE*, v. 9135, "Laser Sources and Applications II", 91351K (2014). Индексируется Scopus.
5. S.Smirnov, D.Churkin. NLSE-based model of a random distributed feedback fiber laser. *Proc. SPIE*, v. 9136, "Nonlinear Optics and Its Applications VIII; and Quantum Optics III", 91361P (2014). Индексируется Scopus.
6. S. Smirnov, S. Kobtsev, and S. Kukarin. Efficiency of non-linear frequency conversion of double-scale pico-femtosecond pulses of passively mode-locked fiber laser. *Optics Express* **22** (1), 1058-1064 (2014). Импакт-фактор WoS: 3.525.
7. E.G.Turitsyna, S.V.Smirnov, S.Sugavanam, N.Tarasov, X.Shu, S.A.Babin, E.V.Podivilov, D.V.Churkin, G.Falkovich & S.K.Turitsyn. The laminar-turbulent transition in a fibre laser. *Nature Photonics*, v. 7, N10, pp. 783 - 786 (2013). Импакт-фактор WoS: 29.958.
8. S.V.Smirnov, D.V.Churkin, "Modeling of spectral and statistical properties of a random distributed feedback fiber laser," // *Opt. Express*, **21** (18), 21236-21241 (2013). Импакт-фактор WoS: 3.525.

9. A. E. Bednyakova, O.A. Gorbunov, M.O. Politko, S.I. Kablukov, S.V. Smirnov, D.V. Churkin, M. P. Fedoruk, and S.A. Babin, "Generation dynamics of the narrowband Yb-doped fiber laser," // Opt. Express **21** (7), 8177-8182 (2013). Импорт-фактор WoS: 3.525.
10. S. Smirnov, S. Kobtsev, S. Kukarin, and A. Ivanenko. "Three key regimes of single pulse generation per round trip of all-normal-dispersion fiber lasers mode-locked with nonlinear polarization rotation" // Optics Express, V. 20, No 24, pp. 27447-27453 (2012). Импорт-фактор WoS: 3.525.
11. С.В. Смирнов, С.М.Кобцев, С.В.Кукарин, А.В.Иваненко. Новый режим одноимпульсной генерации волоконных лазеров с синхронизацией мод за счет нелинейной эволюции поляризации излучения. Квантовая электроника, т. 42, N9, с. 781-784 (2012).
S.V. Smirnov, S.M. Kobtsev, S.V. Kukarin, A.V. Ivanenko. "New regime of single-pulse lasing in fibre lasers with mode locking by nonlinear polarisation evolution". Quantum Electronics, v. 42, N9, pp. 781-784 (2012). Импорт-фактор WoS: 0.886.
12. D.V. Churkin, S.V. Smirnov «Numerical modelling of spectral temporal and statistical properties of Raman fiber lasers» // Optics Communications. – 2012. – V. 285. – N8. – P. 2154-2160. Импорт-фактор WoS: 1.542.

Патенты:

13. С.М. Кобцев, С.В. Смирнов, С.А. Хрипунов, Д.А. Раднатаров, А.В. Иваненко, «Волоконный лазер со стабильной пассивной синхронизацией мод излучения». Патент РФ №138626 (полезная модель), опубликовано 20.03.2014, Бюл. № 8. Дата приоритета: 08.11.2013.
14. С.М. Кобцев, С.В. Кукарин, С.В. Смирнов «Волоконный лазер с изменяемой длительностью импульсов». Патент РФ №119946 (полезная модель), опубликовано 27.08.2012, Бюл. № 24. Дата приоритета: 06.04.2012.
15. С.М. Кобцев, С.В. Кукарин, С.В. Смирнов, Ю.С. Федотов «Волоконный задающий генератор с высокой энергией импульсов излучения». Патент РФ №119531 (полезная модель), опубликовано 20.08.2012, Бюл. №23. Дата приоритета: 06.04.2012.

6. Впечатления

Впечатления положительные. Хотелось бы выразить благодарность администраторам вычислительного центра за стабильную работу системы и оперативную помощь в решении возникающих проблем, а также пожелать расширения их возможностей для дальнейшего повышения темпов ремонтных работ и предотвращения проблем с системой охлаждения кластера в будущем.

Ещё одно чисто «техническое» пожелание: письмо с извещением о необходимости предоставления отчёта (и предстоящей блокировке) у меня попало в спам, и я его

обнаружил совершенно случайно в поисках другого письма. Сейчас я добавил Ваш адрес в список контактов – надеюсь, это позволит избежать подобных проблем в будущем. Однако, полагаю, во избежание проблем у других пользователей было бы удобно, если бы при подключении к кластеру по SSH выдавалось предупреждение наподобие “YOUR ACCOUNT WILL BE BLOCKED 01.01.2015. PLEASE FIND MORE DETAILS IN YOUR MAILBOX”. Возможно ли это?

Прошу продлить доступ к кластеру НГУ пользователю hpcsmirnov до 01.04.2017 (т.е. на два года и три месяца).