

**ОТЧЕТ**  
**ИСОИ РАН за 2014 год**

**Научно-исследовательские проекты.**

1. Программа фундаментальных исследований Президиума РАН «Фундаментальные основы технологий двойного назначения в интересах национальной безопасности», проект "Исследование нелинейных переключателей на основе квантовых точек и фотонно-кристаллических резонансных камер" (2014 г.)(4000000 руб.)(Павельев В.С.).
2. Программа № 24 фундаментальных исследований Президиума РАН «Фундаментальные основы технологий наноструктур и наноматериалов», проект "Элементы микрооптики для субволновой фокусировки света. Моделирование и экспериментальное исследование элементов дифракционной рентгеновской оптики для систем рентгеновской нанодиагностики" (2010-2014 гг.)(865000 руб.)(Сойфер В.А.).
3. Программа № 15 фундаментальных исследований Президиума РАН "Информационные, управляющие и интеллектуальные технологии и системы", проект "Синтез вычислительных процедур локальной обработки цифровых изображений на основе интеллектуального анализа прецедентной информации" (2010-2014 гг.)(400000 руб.)(Сергеев В.В.).
4. Программа № 14 фундаментальных исследований Президиума РАН «Проблемы создания информационно-вычислительной среды на основе GRID технологий, облачных вычислений и современных телекоммуникационных систем», проект "Создание высокопроизводительной распределенной информационно-вычислительной среды для проведения фундаментальных исследований в области геоинформатики и нанофотоники" (2010-2014 гг.)(338200 руб.)(Сойфер В.А.).
5. Программа № 2 фундаментальных исследований ОНИТ РАН «Научные основы создания гетерогенных телекоммуникационных и локационных систем и их элементной базы», проект "Резонансные дифракционные структуры для заданных преобразований импульсных оптических сигналов" (2014 г.)(450000 руб.)(Сойфер В.А.).
6. Программа № 6 фундаментальных исследований ОНИТ РАН «Биоинформатика, современные информационные технологии и математические методы в медицине», проект "Создание экспертной системы диагностического анализа на основе математических методов оценивания признаков микроциркуляторного русла глазного дна" (2014 г.)(400000 руб.)(Сойфер В.А.).
7. Программа № 5 фундаментальных исследований ОНИТ РАН «Фундаментальные проблемы физики и технологии эпитаксиальных наноструктур и приборов на их основе», проект "Исследование нелинейных переключателей на основе квантовых точек и фотонно-кристаллических резонансных камер" (2014 г.)(440000 руб.)(Казанский Н.Л.).
8. Грант РФФИ № 14-07-00339-а "Информационная технология проектирования оптических элементов неизображающей оптики для светодиодных светотехнических систем" (2014-2016 гг.) (750000 руб.)(Казанский Н.Л.).
9. Грант РФФИ № 12-01-00822-а " Дискретные ортогональные преобразования для предфрактальных областей" (2012-2014 гг.) (320000 руб.)(Чернов В.М.).
10. Грант РФФИ № 12-07-00495-а " Подавление рассеяния в элементах плазмонной оптики и создание высокоэффективных элементов для управления плазмонными модами" (2012-2014 гг.) (350000 руб.)(Досколович Л.Л.).
11. Грант РФФИ № 12-07-00581-а "Развитие теории и создание устойчивых к зашумлению исходных данных методов и технологий обработки и распознавания радиолокационных изображений и формирования цифровых моделей рельефа" (2012-2014 гг.) (550000 руб.)(Фурсов В.М.).
12. Грант РФФИ № 14-07-00177-а "Нелинейная суперпозиция вихревых световых пучков для оптического захвата и вращения микрообъектов" (2014-2016 гг.)(500000 руб.) (Скиданов Р.В.).

13. Грант РФФИ № 12-01-00237-а "Разработка математических методов текстурного анализа изображений микро- и наноструктур" (2012-2014 гг.)(260000 руб.) (Ильясова Н.Ю.).
14. Грант РФФИ № 12-07-00751-а "Разработка информационной технологии синтеза и адаптивного выбора параллельных алгоритмов линейной обработки многомерных сигналов" (2012-2014 гг.) (450000 руб.) (Чичева М.А.).
15. Грант РФФИ № 12-07-00021-а "Методы и алгоритмы эффективного представления цифровых изображений для поиска в базе данных" (2012-2014 гг.) (650000 руб.) (Мясников В.В.).
16. Грант РФФИ № 13-07-00464-а "Новые методы управления распространением блоховских поверхностных волн с помощью дифракционных наноструктур" (2013-2015 гг.) (600000 руб.) (Сойфер В.А.).
17. Грант РФФИ № 13-07-00997-а "Мультимодальная обработка потоков видеоданных в распределенных системах компьютерного зрения" (2013-2015 гг.) (400000 руб.) (Попов С.Б.).
18. Грант РФФИ № 13-07-00266-а "Трехмерное формирование фокального распределения в условиях острой фокусировки с использованием дифракционной оптики" (2013-2015 гг.) (400000 руб.) (Хонина С.Н.).
19. Грант РФФИ № 14-01-00369-а "Анализ наблюдаемости и параметрическая идентификация кристаллических наноструктур по электронным изображениям проекций" (2014-2016 гг.) (500000 руб.) (Куприянов А.В.).
20. Грант РФФИ № 14-07-00291-а "Разработка параллельных приложений для расчета оптических компонент телекоммуникационных систем на гетерогенных вычислительных комплексах с графическими процессорами" (2014-2016 гг.)(500000 руб.) (Головашкин Д.Л.).
21. Грант РФФИ № 14-01-31401-мол-а-2014 "Исследование прикладного использования особых свойств анизотропных сред для формирования вихревых лазерных полей в оптическом пинцете" (2014-2015 гг.) (400000 руб.) (Зотева О.В.).
22. Грант РФФИ № 14-07-31178-мол-а-2014 "Разработка методов решения обратных задач дифракционной нанопластики на гетерогенных вычислительных системах с графическими процессорами" (2014-2015 гг.) (400000 руб.) (Воротников Д.Г.).
23. Грант РФФИ № 14-07-31135-мол-а-2014 "Решение обратных задач синтеза оптических элементов светодиодов для систем подсветки дисплеев " (2014-2015 гг.) (400000 руб.) (Моисеев М.А.).
24. Грант РФФИ № 14-07-31291-мол-а-2014 " Применение сложных вихревых пучков, не имеющих кольцевой структуры в распределении интенсивности, для реализации привода микромеханических устройств путем передачи вращающего момента " (2014-2015 гг.) (400000 руб.) (Морозов А.А.).
25. Грант РФФИ № 14-01-31305-мол-а-2014 "Анализ возбуждения и распространения мод лазерного излучения в оптическом волокне" (2014-2015 гг.) (400000 руб.) (Гаврилов А.В.).
26. Грант РФФИ № 14-07-31092-мол-а-2014 "Расчет элементов микрооптики, обеспечивающих фокусировку света в область менее двадцатой части длины волны" (2014-2015 гг.) (400000 руб.) (Налимов А.Г.).
27. Грант РФФИ № 14-07-31079-мол-а-2014 "Исследование дифракции сингулярных пучков на оптических элементах с субволновой структурой" (2014-2015 гг.) (400000 руб.) (Савельев Д.А.).
28. Грант РФФИ № 14-07-31218-мол-а-2014 "Разработка методов и алгоритмов для строгого моделирования распространения ультракоротких лазерных импульсов в планарных волноводах с учетом частотной дисперсии" (2014-2015 гг.) (400000 руб.) (Козлова Е.С.).
29. Грант РФФИ № 13-01-97007-р\_поволжье\_а "Новые математические методы и алгоритмы спектральной обработки цифровых нано- и микроизображений" (2013-2015 гг.) (450000 руб.) (Чернов В.М.).

30. Грант РФФИ № 13-07-97000-р\_поволжье\_a "Развитие теории и создание методов и алгоритмов оперативного распознавания дорожной обстановки и создание прикладного программного обеспечения для систем активной безопасности отечественных автомобилей" (2013-2015 гг.) (450000 руб.) (Фурсов В.А.).
31. Грант РФФИ № 13-07-97001-р\_поволжье\_a "Создание методов проектирования формирующей оптики светодиодов для световых приборов автомобиля" (2013-2015 гг.) (450000 руб.) (Досколович Л.Л.).
32. Грант РФФИ № 13-07-97002-р\_поволжье\_a "Оптимизация сложных нанофотонных структур с использованием технологии распределенных вычислений MapReduce" (2013-2015 гг.) (350000 руб.) (Попов С.Б.).
33. Грант РФФИ № 13-07-97004-р\_поволжье\_a " Исследование фокусирующих свойств обобщенной линзы, форма поверхности которой описывается дробной степенной зависимостью от радиуса" (2013-2015 гг.) (400000 руб.) (Хонина С.Н.).
34. Грант РФФИ № 13-07-97005-р\_поволжье\_a "Разработка и экспериментальное исследование дифракционных фокусирующих систем с регулируемым распределением интенсивности в фокусе" (2013-2014 гг.) (400000 руб.) (Скиданов Р.В.).
35. Грант РФФИ № 13-07-97006-р\_поволжье\_a "Создание новых методов и информационных технологий анализа данных дистанционного зондирования Земли, их исследование и применение для решения задач агропромышленного комплекса Самарской области" (2013-2015 гг.) (450000 руб.) (Сергеев В.В.).
36. Грант РФФИ № 13-07-97008-р\_поволжье\_a "Расчет элементов микрооптики для фокусировки фемтосекундных оптических импульсов" (2013-2015 гг.) (450000 руб.) (Котляр В.В.).
37. Грант РФФИ № 14-02-97033-р\_поволжье\_a "Разработка физических основ технологии обработки материалов структурированным лазерным пучком с перестраиваемым поляризационным состоянием в соответствии с особенностями задач авиационно-космического машиностроения" (2014-2015 гг.) (230000 руб.) (Карпеев С.В.).
38. Грант РФФИ № 14-07-97008-р\_поволжье\_a "Создание интегрированного на кристалле высокоразрешающего спектрометра на основе массива фотонно-кристаллических резонаторов для получения гиперспектральных данных дистанционного зондирования Земли" (2014-2015 гг.) (340000 руб.) (Казанский Н.Л.).
39. Грант РФФИ № 14-07-97009-р\_поволжье\_a "Создание элементов аппаратно-программного комплекса на основе технологий BigData для получения, хранения и обработки крупноформатных гиперспектральных изображений дистанционного зондирования Земли" (2014-2015 гг.) (230000 руб.) (Серафимович П.Г.).
40. Грант РФФИ № 14-07-97040-р\_поволжье\_a "Разработка математических методов формирования признаков для экспертных систем диагностики заболеваний на основе текстурного анализа биомедицинских изображений" (2014-2015 гг.) (240000 руб.) (Куприянов А.В.).
41. Грант РФФИ № 14-07-97038-р\_поволжье\_a "Полые световые пучки для перемещения и ускорения микрообъектов" (2014-2015 гг.) (100000 руб.) (Порфирьев А.П.).
42. Грант РФФИ № 14-07-97039-р\_поволжье\_a "Преодоление дифракционного предела при фокусировке лазерного излучения компонентами микро- и нанофотоники" (2014-2015 гг.) (100000 руб.) (Стафеев С.С.).
43. Грант РФФИ № 13-07-12103-офи-м "Анализ и прогнозирование транспортных потоков на основе комплексного использования космической навигационной информации, данных дистанционного зондирования Земли и систем видеонаблюдения" (2013-2015 гг.) (1400000 руб.) (Мясников В.В.).
44. Грант РФФИ № 13-07-12181-офи-м "Технологии интеллектуального компьютерного анализа и хранения гиперспектральных данных ДЗЗ" (2013-2015 гг.) (1450000 руб.) (Сойфер В.А.).
45. Грант РФФИ № 13-01-12080-офи-м "Математические методы, алгоритмы

- и информационные технологии компрессии и защиты данных гиперспектрального дистанционного зондирования Земли" (2013-2015 гг.) (1450000 руб.) (Сергеев В.В.).
46. Грант РФФИ № 14-29-07133-офи-м "Физические основы, информационные технологии и технологии синтеза компонент нанофотоники" (2014-2016 гг.) (2900000 руб.) (Котляр В.В.).
  47. Грант РФФИ № 14-32-50355-Мол\_рф\_нр "Управление формированием микроструй при лазерно-плазменном взаимодействии с использованием оптических фазовых элементов" (2014 г.) (210000 руб.) (Хонина С.Н.).
  48. Грант РФФИ № 13-07-13166-офи\_м\_РЖД "Создание сверхлегких систем технического зрения для беспилотных летательных аппаратов" (2013-2014 г.) (4145000 руб.) (Казанский Н.Л.).
  49. Грант РФФИ № 14-00-10127 " Доступ к электронным научным информационным ресурсам зарубежных издательств" (2014 г.) (1164760 руб.) (Сойфер В.А.).
  50. Грант РФФИ № 13-00-14074 " Доступ к электронным научным информационным ресурсам зарубежных издательств" (2013-2014 гг.) (527020 руб.) (Сойфер В.А.).
  51. Грант Президента РФ МК-4816.2014.2 "Достижение сверхразрешения при фокусировке лазерного излучения объектами микрооптики" (2014-2015 гг.) (600000 руб.) (Стафеев С.С.).
  52. Грант Президента РФ НШ-3970.2014.9 "Разработка теории и создание компонентов нанофотоники для перспективных информационных технологий" (2014-2015 гг.) (400000 руб.) (Сойфер В.А.).
  53. Грант Президента РФ МД-1929.2013.2 "Исследование градиентных и бинарных диэлектрических устройств нанофотоники для острой фокусировки лазерного излучения" (2013-2014 гг.) (1000000 руб.) (Ковалев А.А.).
  54. Грант Президента РФ МК-3863.2013.9 "Разработка новых методов и алгоритмов встраивания цифровых водяных знаков для защиты видеoinформации от несанкционированного распространения и фальсификации" (2013-2014 гг.) (600000 руб.) (Митекин В.А.).
  55. Грант РФФИ № 14-19-00796 " Разработка резонансных структур нанофотоники для систем оптической обработки информации и оптических вычислений" (2014-2016 гг.) (4000000 руб.) (Досколович Л.Л.).
  56. Грант РФФИ № 14-19-00969 "Создание информационных технологий для проектирования энергоэффективных светотехнических устройств на основе светодиодов" (2014-2016 гг.) (3500000 руб.) (Казанский Н.Л.).
  57. Грант РФФИ № 14-19-00114 "Дифракционные оптические элементы, формирующие вихревые световые пучки для вращения микрообъектов в разреженных средах" (2014-2016 гг.) (3500000 руб.) (Скиданов Р.В.).
  58. Договор со СГАУ №1/13С от 15.03.2013г. "Разработка конструкции гиперспектральной аппаратуры нового поколения и информационных технологий обработки гиперспектральной информации" (2013-2015 гг.) (30400000 руб.) (Сойфер В.А.).
  59. Договор с ФГУП "18 ЦНИИ" МО РФ №13-263 от 01.11.2013г. " Разработка методов и программных средств для автоматизированного создания векторного описания графического оформления архивных документов для процессов их восстановления" (2013-2015 гг.) (5000000 руб.) (Сергеев В.В.).
  60. Договор с ФКП НИИ "Геодезия" № 251.3249.Н-50Б.К14 " Составная часть ОКР "Разработка аппаратно-программного комплекта для регистрации координат промахов-попадание при пролёте БП ВТО плоскости мишени высокой правдоподобности"" (2014 г.) (1700000 руб.) (Казанский Н.Л.).
  61. Договор с ФКП НИИ "Геодезия" № 251.3555.Н-50Б.К14 от 01.07.2014 г. " Составная часть ОКР "Разработка системы визуализации процессов испытаний и обработки данных в режиме реального времени с дальностью передачи информации не менее 16 км с возможностью дальнейшего увеличения до 30 км"" (2014 г.) (1500000 руб.) (Казанский Н.Л.).

62. Договор с ГосНИИПП № 18/2014 от 02.06.2014 г. "Крона-ПП-С" (2014-2015 гг.) (13500000 руб.) (Фурсов В.А.).
63. Стипендии Президента РФ СП-1665.2012.5 "Резонансные дифракционные структуры для сверхбыстрой оптической обработки информации" (2012-2014 гг.) (240000 руб.) (Быков Д.А.).
64. Стипендии Президента РФ СП-4554.2013.5 "Расчет и исследование элементов двумерной оптики для управления распространением поверхностных электромагнитных волн" (2013-2015 гг.) (240000 руб.) (Безус Е.А.).

#### **Статьи по госзаданию**

1. Тема "Разработка методов расчета и создания компонентов дифракционной нанофотоники": план - 19 статей, факт - 22.
2. Тема "Формирование лазерных пучков для задач оптического микроманипулирования на основе применения компонентов дифракционной микрооптики": план - 18 статей, факт - 28.
3. Тема "Разработка математических методов и информационных технологий обработки гиперспектральных изображений": план - 13 статей, факт - 14.
4. Тема "Разработка научных основ геоинформационных технологий и систем, создание распределенной инфраструктуры коллективного использования данных дистанционного зондирования Земли": план - 9 статей, факт - 11.

#### **Монографии**

1. A.V. Gavrilov, D.L. Golovashkin, L.L. Doskolovich, P.N. Dyachenko, S.N. Khonina, V.V. Kotlyar, A.A. Kovalev, A.G. Nalimov, D.V. Nesterenko, V.S. Pavelyev, Y.O. Shuyupov, R.V. Skidanov, V.A. Soifer "Diffraction Nanophotonics", ed. by V.A. Soifer, CRC Press, Taylor&Francis Group, CISP, Boca Raton, 679p., 2014. ISBN 9781466590694.
2. Безус Е.А., Быков Д.А., Досколович Л.Л., Ковалев А.А., Котляр В.В., Налимов А.Г., Порфирьев А.П., Скиданов Р.В., Соифер В.А., Стафеев С.С., Хонина С.Н. "Дифракционная оптика и нанофотоника", под ред. В.А. Соифера, Физматлит, М., 608 с. (2014). ISBN 9785922115711.

#### **Патенты**

1. Казанский Н.Л., Серафимович П.Г., Харитонов С.И., Абульханов С.Р. "Нанорезонатор", Патент РФ № 2513657 от 19.02.2014 г., приоритет от 04.06.2012 г.
2. Казанский Н.Л., Колпаков В.А., Ивлиев Н.А. "Способ измерения чистоты поверхности подложек", Патент РФ № 2515117 от 12.03.2014 г., приоритет от 10.09.2012 г.
3. Казанский Н.Л., Абульханов С.Р., Попов С.Б. "Устройство контроля макродефектов на внутренней поверхности труб", Патент РФ № 2531037 от 20.08.2014 г., приоритет от 23.04.2013 г.

#### **Государственная регистрация программ для ЭВМ**

1. Ильясова Н.Ю., Куприянов А.В., Парингер Р.А. "Компьютерная система формирования экспертной оценки сосудистой патологии глазного дна на основе кластеризации пространства признаков", Номер рег. 2014615254 от 22.05.2014 г.
2. Ильясова Н.Ю., Куприянов А.В., Парингер Р.А. "Компьютерная система дискриминантного анализа для формирования эффективных диагностических признаков биомедицинских изображений", Номер рег. 2014615283 от 22.05.2014 г.

### **Защиты диссертаций**

1. Козлова Елена Сергеевна. «Анализ линейного распространения фемтосекундных лазерных импульсов в кварцевом стекле». Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05 – Оптика. Защита – 19 сентября 2014 года. Работа выполнена в ИСОИ РАН и на кафедре технической кибернетики СГАУ.
2. Савельев Дмитрий Андреевич. «Численный анализ дифракции на элементах микрооптики лазерных пучков с фазовой сингулярностью». Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05 – Оптика. Защита – 19 сентября 2014 года. Работа выполнена в ИСОИ РАН и на кафедре технической кибернетики СГАУ.
3. Алфёров Сергей Владимирович. «Экспериментальная реализация поляризационно-модовых преобразований для управления распределением компонент электрического поля остросфокусированных лазерных пучков». Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05 – Оптика. Защита – 03 октября 2014 года. Работа выполнена в ИСОИ РАН и на кафедре нанотехнологий СГАУ.
4. Якимов Павел Юрьевич. «Информационная технология обнаружения и различения дорожных знаков в мобильных системах технического зрения». Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ. Защита – 31 октября 2014 года. Работа выполнена в ИСОИ РАН и на кафедре суперкомпьютеров и общей информатики СГАУ.
5. Асланов Эмиль Рафик оглы. «Аналитические методы расчета оптических элементов светодиодов для формирования заданных распределений освещенности». Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05 – Оптика. Защита – 07 ноября 2014 года. Работа выполнена в ИСОИ РАН и на кафедре технической кибернетики СГАУ.
6. Рыков Михаил Александрович. «Теоретическое и экспериментальное исследование оптического захвата биологических микробиологических объектов в лазерных пучках, сформированных дифракционными оптическими элементами». Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05 – Оптика. Защита – 28 ноября 2014 года. Работа выполнена в ИСОИ РАН и на кафедре технической кибернетики СГАУ.

### **Участие в международных конференциях**

1. 4-ая Международная конференция-выставка NanoIsrael 2014, Тель-Авив, 22-29 марта 2014 г. (1 доклад, Куприянов А.В.).
2. 14-ая международная конференция "Вычислительные и математические методы в науке и проектировании", CMMSE-2014, Рота, Кадис, Испания, 3-7 июля 2014 г. (2 доклада Воротникова Д.Г., Кочуров А.В.).
3. Международная конференция "Прогресс в электромагнитных исследованиях", Гуанджоу, Китай, 25-28 августа 2014 г. (3 доклада Быкова Д.А. и Безуса Е.А.).
4. Международная конференция "Оптика и фотоника", Сан-Диего, США, 17-22 августа 2014 г. (2 доклада Досколович Л.Л., Моисеев М.А.).
5. 18-ая международная конференция "Современные лазерные технологии", 6-10 октября 2014 г., Кассис, Франция (1 доклад, Досколович Л.Л.).
6. 7-ая международная конференция по машинному зрению, ICMV-2014, 19-22 ноября 2014 г., Милан, Италия (3 доклада, Федосеев В.А., Белов А.М.).

### **Результаты**

1. Рассмотрено новое трехпараметрическое семейство вращающихся асимметричных пучков Бесселя-Гаусса (аБГ-пучки) с целым и дробным орбитальным угловым моментом (ОУМ). аБГ-пучки описываются произведением функции Гаусса на функцию Бесселя первого рода  $n$ -го

порядка с комплексным аргументом и имеют конечную энергию. Степень асимметрии аБГ-пучка зависит от вещественного параметра  $c \geq 0$ : при  $c=0$  аБГ-пучок совпадает с обычным радиально-симметричным пучком Бесселя-Гаусса; с ростом  $c$  аБГ-пучок приобретает форму полумесяца и при  $c \gg 1$  вытягивается по вертикальной оси и смещается по горизонтальной оси. Распределение интенсивности ассиметричных пучков Бесселя-Гаусса в начальной плоскости имеет счётное число изолированных нулей, расположенных на горизонтальной оси. На месте этих нулей находятся оптические вихри с единичными топологическими зарядами и противоположными знаками с разных сторон от начала координат. При распространении пучка центры этих вихрей вместе со всем пучком вращаются вокруг оптической оси с неравномерной скоростью (при большом  $c \gg 1$ ): на расстоянии, равном длине Рэлея, они повернутся на 45 градусов, и на остальном расстоянии еще на 45 градусов. При разных значениях параметра  $c$  нули интенсивности в поперечном распределении интенсивности пучка меняют свои местоположения и изменяют ОУМ пучка. Изолированный ноль интенсивности на оптической оси порождает оптический вихрь с топологическим зарядом  $n$ . Лазерный пучок в виде вращающегося полумесяца был сформирован с помощью модулятора света.

2. С помощью бинарной микролинзы в резисте диаметром 14 мкм и фокусом 532 нм (числовая апертура 0,997) лазерный пучок с длиной волны 633 нм с частично радиальной поляризацией, сформированной при отражении линейно-поляризованного гауссова пучка от четырёхзонного субволнового бинарного дифракционного оптического микроэлемента (микрополяризатора) с золотым покрытием и размером 100x100 мкм, был сфокусирован вблизи поверхности микролинзы в почти круглое фокусное пятно с размерами по полуспаду интенсивности  $0,37 \pm 0,02$  и  $0,39 \pm 0,02$  от длины волны. В случае фокусировки линейно-поляризованного света (при прочих равных условиях) формировалось эллиптическое фокусное пятно с размерами  $0,35 \pm 0,02$  и  $0,41 \pm 0,02$  от длины волны. При этом площади обоих фокусных пятен равны  $0,113$  от квадрата длины волны. Субволновая фокусировка с помощью двух компонент микрооптики (бинарных микролинзы и микрополяризатора) осуществлена впервые.

3. Экспериментально показано, что микроступеньки с квадратным сечением на кварцевой подложке со стороной квадрата 0,4 мкм, 0,5 мкм, 0,6 мкм и 0,8 мкм и высотой 500 нм при освещении со стороны подложки линейно-поляризованным лазерным светом с длиной волны  $\lambda = 633$  нм формируют вблизи своей поверхности области повышенной интенсивности (фотонные струи), превышающие интенсивность падающего света почти в 6 раз и имеющие в сечении диаметры по полуспаду интенсивности  $0,44\lambda$ ,  $0,43\lambda$ ,  $0,39\lambda$  и  $0,47\lambda$ , которые меньше дифракционного предела  $0,51\lambda$ . Причём, когда сторона квадрата ступеньки меньше длины волны, фокус находится внутри ступеньки, а когда сторона квадрата больше длины волны, фокус снаружи ступеньки, и это похоже на оптическую свечу. Формировать фотонную струю с помощью фиксированной ступеньки на подложке удобнее, чем с помощью микросферы, которую нужно как-то удерживать. Кроме того, все на сегодня экспериментально зарегистрированные фокусные пятна для диэлектрических микросфер больше дифракционного предела.

4. Получено новое решение параксиального уравнения Гельмгольца, описывающее семейство структурно-устойчивых трёхмерных и двумерных половинных пучков Пирси (ПП-пучки). ПП-пучки обобщают пучки Пирси, полученные в Opt. Express, 20, 18955 (2012), так как известные пучки Пирси равны сумме двух ПП-пучков первого порядка. Угловой спектр плоских волн трёхмерных ПП-пучков отличен от нуля на половине параболы. Установлены свойства ортогональности функций, описывающих комплексные амплитуды ПП-пучков. Для двумерного ПП-пучка показано наличие ускорения в области до фокальной плоскости и замедление за фокусом. Экспериментально с помощью жидкокристаллического модулятора света показано, что лазерные ПП-пучки при распространении сохраняют свою структуру, обладают свойством автофокусировки и самовосстановления.

5. Рассмотрено непараксиальное семейство бездифракционных лазерных пучков, комплексная амплитуда которых, удовлетворяет уравнению Гельмгольца и пропорциональна функции Ломмеля двух переменных  $n$ -го порядка. Поэтому они называются пучками Ломмеля (Л-пучки). Получены явные аналитические выражения для углового спектра плоских волн и орбитального углового момента для Л-пучков. Поперечная интенсивность Л-пучков обладает зеркальной симметрией по отношению к осям декартовых координат. Так как Л-пучки сохраняют поперечную интенсивность при распространении, то они являются модами свободного пространства (Л-моды). Чётные ( $n = 2p$ ) и нечётные ( $n = 2p+1$ ) Л-моды взаимно ортогональны. При определенном параметре Л-моды переходят в обычные моды Бесселя.

6. Рассмотрены вихревые моды Эрмита-Гаусса (ВЭГ-моды), комплексная амплитуда которых пропорциональна многочлену Эрмита  $n$ -ой степени, аргумент которого зависит от действительного параметра  $a$ . При  $|a| < 1$  на горизонтальной оси в поперечном сечении пучка имеются  $n$  изолированных нулей, которые порождают оптические вихри с топологическим зарядом  $+1$  ( $a < 0$ ) или  $-1$  ( $a > 0$ ). При  $|a| > 1$  у ВЭГ-моды аналогичные изолированные нули лежат на вертикальной оси. При  $|a| = 1$  все  $n$  изолированных нулей собираются на оптической оси в центре пучка и порождают оптический вихрь  $n$ -го порядка, и ВЭГ-мода совпадает с модой Лагерра-Гаусса порядка  $(0, n)$ , а при  $a = 0$  ВЭГ-мода совпадает с модой Эрмита-Гаусса порядка  $(0, n)$ . Рассчитан орбитальный угловой момент ВЭГ-мод, который зависит от параметра  $a$  и меняется от 0 (при  $a = 0$  и  $a \rightarrow \infty$ ) до  $n$  ( $a = 1$ ).

7. Численно, на основе аналитического решения в виде ряда и решения разностных уравнений Максвелла, показано, что при дифракции монохроматического непараксиального гауссова пучка с ТЕ-поляризацией на однородном диэлектрическом (полиэстер) цилиндре при радиусах цилиндра, сравнимых с длиной волны света, можно получить фокусное пятно вне цилиндра, размер которого в 2 раза меньше дифракционного предела. Хотя радиус диэлектрического цилиндра больше длины волны всего в два раза, интенсивность в фокусе в 48 раз больше максимальной интенсивности падающего гауссова пучка. Если всего на 2% изменить радиус цилиндра от резонансного (для данной длины волны), то фокус увеличится в 1,5 раза, а интенсивность в фокусе будет всего в 12 раз больше интенсивности падающего света. Полученное решение соответствует формированию в сечении круглого цилиндра моды Бесселя 18-го порядка.

8. Рассчитан усечённый эллипсоид, который все падающие параллельные лучи собирает на входной плоской поверхности. Моделирование FDTD-методом, учитывающим дисперсию вещества, фокусировки линейно-полризованного фемтосекундного импульса (длительностью 1,24 фс и несущей длиной волны  $\lambda = 532$  нм) с помощью кварцевого усечённого микроэллипсоида с меньшим диаметром сечения 1,16 мкм показало, что эллипсоид даёт эллиптическое фокусное пятно с меньшим диаметром  $\text{FWHM} = 0,38\lambda$ . При этом временная длительность импульса в фокусе на несколько процентов меньше, чем длительность входящего импульса.

9. Предложены резонансные дифракционные структуры (дифракционные решётки и системы однородных слоёв), позволяющие выполнить следующие пространственные преобразования оптических пучков: интегрирование, дифференцирование, вычисление оператора Лапласа, преобразование мод лазерного излучения. Предложенные структуры являются сверхкомпактным аналогом оптических фильтрующих систем на основе фурье-корреляторов. Практическая значимость результата состоит в возможности создания новых планарных систем сверхбыстрой оптической обработки информации и оптических вычислений.

10. Предложены микрорезонаторы из магнитооптического материала для управления амплитудой поверхностных плазмон-поляритонов. Исследован эффект возбуждения

повехностных плазмон-поляритонов, происходящий при освещении микрорезонатора, расположенного на металлической подложке. Микрорезонатор изготовлен из магнитооптического материала. Показано, что в случае намагниченного резонатора плазмон-поляритон может быть возбуждён как ТМ-поляризованной плоской волной, так и волной с ТЕ-поляризацией. Кроме того, показано, что при возбуждении собственных мод резонатора, эффективность возбуждения плазмон-поляритона резонансно возрастает. На основе численного моделирования показано, что вызванное намагниченностью резонатора относительное изменение интенсивности возбуждённого плазмон-поляритона, находится в диапазоне от нескольких процентов до 100% в зависимости от поляризации падающей волны. Такое большое изменение открывает новые возможности для эффективной модуляции поверхностных плазмон-поляритонов с использованием внешнего магнитного поля.

11. Разработан новый итерационный метод расчета преломляющих оптических элементов с двумя рабочими поверхностями свободной формы для формирования заданных распределений освещенности. Метод ориентирован на компактные источники света в виде светодиодов. Согласно результатам компьютерного моделирования, метод обеспечивает расчёт оптических элементов, формирующих заданные двумерные распределения освещенности в большом диапазоне угловых размеров со световой эффективностью (доля излучённого светодиодом светового потока, попавшая в заданную освещаемую область) в 85-90%. При этом среднеквадратичная ошибка формирования заданных распределений освещённости составляет менее 10%. Отметим, что вследствие френелевских потерь максимально возможное теоретическое значение световой эффективности составляет 92%. Практическая значимость результата состоит в возможности создания новых энергоэффективных систем светодиодного освещения.

12. Предложено новое решение задачи построения цифровой модели местности (ЦММ) по стереопарам изображений. Важным отличием метода является отсутствие этапа ректификации изображений, вносящего дополнительные искажения. В данном случае 3D-координаты вычисляются по соответствующим точкам, которые ищутся непосредственно на эпиполярных линиях, заданных с помощью фундаментальной матрицы. На основе этого подхода создана информационная технология построения ЦММ по данным аэрокосмических наблюдений, включающая идентификацию фундаментальной матрицы с использованием развиваемого авторами метода согласованной идентификации. Разработаны, зарегистрированы и внедрены в ОАО «РКЦ «Прогресс» программные комплексы «СтереоЦМР» и «ПАРСИ», реализующие предложенную технологию. Проведены исследования, направленные на повышение быстродействия за счет реализации программ на гибридных вычислительных системах, включающих графические ускорители.

13. Созданы с помощью технологии плазмохимического травления и исследованы методом оптического эксперимента бинарные кремниевые элементы, формирующие лазерные одномодовые пучки Гаусса-Эрмита (1,0), Гаусса-Эрмита (1,1) и Гаусса-Лагерра (2,2) терагерцового диапазона из освещающего пучка Новосибирского лазера на свободных электронах (NovoFel) на длине волны 141 мкм. Экспериментально показано, что сформированные пучки обладают самопроизведением амплитудно-фазовой структуры (с точностью до масштаба) при распространении в свободном пространстве. Управление модовым составом лазерных пучков терагерцового диапазона (в том числе мощных) позволит решать следующие научные и практические задачи: 1) управление газовым разрядом; 2) построение эффективных лидаров терагерцового диапазона; 3) защита информации в системах связи терагерцового диапазона.

14. Разработан и изготовлен изображающий объектив на основе дифракционных линз, дающий четкое изображение в одном цветовом канале. Для расчета дифракционного объектива была

рассчитана рефракционная поверхность, которая собирает плоскую волну в одной точке (при расчете толщиной этой поверхности пренебрегали), затем на ее основе был рассчитан дифракционный четырехуровневый элемент. Этот элемент обладает функцией рассеяния точки с шириной близкой к дифракционному ограничению. Хроматическая аберрация объектива снижалась за счет использования узкополосного спектрального фильтра выделяющего диапазон от 550 до 580 нм, что давало резкое изображение на красном канале съемки.

15. Разработан лабораторный макет гиперспектральной камеры на основе резонансных спектральных фильтров. В камере был использован узкополосный спектральный фильтр на основе многослойного пленочного покрытия, который обеспечивал плавно изменяющуюся функцию спектрального пропускания от одной стороны фильтра к другой. За счет последующей обработки последовательности получившихся изображений, которая основывалась на решении уравнения Фредгольма 1-го рода удалось повысить спектральное разрешение с 5 нм, которое обеспечивал фильтр, до 2нм.

16. Осуществлен трехмерный оптический захват и перемещение непрозрачных микрочастиц в воздухе в полых световых пучках, которые представляли собой суперпозицию пучков Бесселя. Для этого ранее был разработан метод, который позволяет рассчитывать массивы световых «бутылок» на основе сложения большого количества пучков Бесселя 0-го порядка, что даёт дополнительные возможности при захвате частиц и изучении их свойств. Перемещение световой ловушки в пространстве достигалось благодаря передвижению фокусирующего микрообъектива. При этом осуществляется полностью трехмерный захват, и в эксперименте удалось перемещать частицу вдоль оси пучка на расстояния около 340 мкм.

17. Исследовано формирование сферических распределений интенсивности на основе встречной интерференции остросфокусированных вихревых пучков с различной поляризацией. Предложено формирование трёхмерных распределений простым способом с помощью оптимизации ширины и положения одной кольцевой диафрагмы. Для узкой диафрагмы оптимальные параметры вычисляются аналитически, а для широкой диафрагмы дополнительно численно корректируются. Показано, что в зависимости от поляризации, порядка вихревой сингулярности и дополнительного фазового набег в одном из пучков можно формировать как цельные, так и полые световые шары субволнового радиуса, состоящие из различных компонентов электрического поля.

18. Теоретически и экспериментально исследовано преобразование параксиальных и непараксиальных пучков Бесселя в кристалле испанского шпата. Получены формулы для согласования длины кристалла с характеристиками падающего излучения, обеспечивающее полное преобразование пучка Бесселя нулевого порядка в вихревой пучок второго порядка при круговой поляризации. Экспериментальные результаты показали хорошее соответствие теоретическим выкладкам.

19. На основе сравнения теоретических и экспериментальных исследований распределения компонент электрического поля в фокальной плоскости при вращении пластинки с фазовым скачком величиной  $\pi$ , помещённой в фокусируемый пучок, проведён анализ поляризационной чувствительности различных апертурных металлизированных зондов ближнепольного микроскопа. Показано, что с ростом диаметра открытой части заострённого конца зонда происходит существенное перераспределение чувствительности в пользу поперечных компонент электрического поля и рост коэффициента передачи сигнала через зонд.

**Результаты, готовые к практическому применению**

1. Программный комплекс «ПАРСИ» (Программа автоматической реконструкции по стереоизображениям). В программе реализован алгоритм автоматического сопоставления точек на паре стереоизображений, с использованием малых фрагментов, позволяющих минимизировать искажения, вносимые перспективной проекцией. Малые фрагменты формируются на эпиполярных прямых, рассчитанных с использованием известных параметров камер. Для повышения надежности, малые фрагменты объединяются в составные фрагменты, расположенные вдоль эпиполярных прямых. Также повышение надежности обусловлено использованием градиентов, рассчитанных с использованием фильтра Канни.  
(Свидетельство о госрегистрации № 2014616002 от 09.06.2014 г.)

2. Программный комплекс «СтереОЦМР» (Программа для формирования цифровой модели по паре космических стереоизображений). В программе реализован алгоритм автоматического сопоставления точек на паре космических стереоизображений и формирования карты диспаратности. Выполнение алгоритма производится в четыре этапа: 1) предварительное сопоставление изображений с использованием взвешенной функции корреляции в окрестности точки, 2) формирование фундаментальной матрицы методом RANSAC, 3) точное сопоставление изображений с учетом эпиполярных ограничений, 4) формирование карты диспаратности.  
(Свидетельство о госрегистрации № 2014619947 от 25.09.2014 г.)