

ПРИОРИТЕТНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ П.8.

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОПТИКИ И ЛАЗЕРНОЙ ФИЗИКИ, В ТОМ ЧИСЛЕ ДОСТИЖЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ МОЩНОСТИ И ЭНЕРГИИ ВО ВРЕМЕНИ, ПРОСТРАНСТВЕ И СПЕКТРАЛЬНОМ ДИАПАЗОНЕ, ОСВОЕНИЕ НОВЫХ ДИАПАЗОНОВ СПЕКТРА, СПЕКТРОСКОПИЯ СВЕРХВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ И СТАНДАРТЫ ЧАСТОТЫ, ПРЕЦИЗИОННЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ, ПРОБЛЕМЫ КВАНТОВОЙ И АТОМНОЙ ОПТИКИ, ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ С ВЕЩЕСТВОМ

Программа П.8.1. Современные проблемы физики сверхсильных световых полей, спектроскопия сверхвысокого разрешения, лазерные стандарты частоты, прецизионные оптические измерения, проблемы квантовой и атомной оптики (координатор акад. С. Н. Багаев)

В Институте лазерной физики создан лазерный источник на длине волны 457 нм с шириной линии излучения ~ 1 кГц, с помощью которого выполнены спектроскопические исследования ультрахолодных атомов магния, локализованных в магнитооптической ловушке (рис. 18). С использованием фемтосекундных оптических часов проведены первые эксперименты по измерению частоты перехода $^1S_0 \rightarrow ^3P_1$ атома магния (рис. 19). Измеренная частота перехода составила величину $\nu_{\text{изм}} = 655659923834,1(5)$ кГц. Определены возможности повышения точности измерений на два—три порядка. Полученные результаты являются важным шагом на пути создания нового поколения оптических стандартов частоты со стабильностью на уровне 10^{-17} для совершенствования системы ГЛОНАСС.

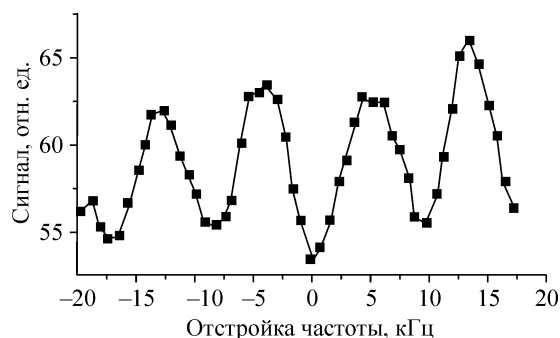


Рис. 18. Резонансы Рамси в разнесенных во времени лазерных полях при взаимодействии с охлажденными и локализованными в магнитооптической ловушке атомами магния.

В этом же Институте разработаны физические основы и элементная база эксаваттного многоканального лазерного комплекса на основе параметрического усиления фемтосекундных импульсов в широкоапертурных кристаллах LBO с когерентным сложением оптических полей каналов при фазово-частотной привязке излучения каналов к оптическому стандарту частоты и времени (оптическим часам) (рис. 20). Экспериментально осуществлена фазовая синхронизация чирпованных импульсов фемтосекундного генератора и пикосекундных импульсов системы накачки параметрических каскадов усиления к эталону частоты с джиттером не хуже 280 фс. Фазово-частотные сдвиги на этапах параметрического усиления фемтосекундных импульсов в стартовом комплексе устраняются электронной системой с точно-

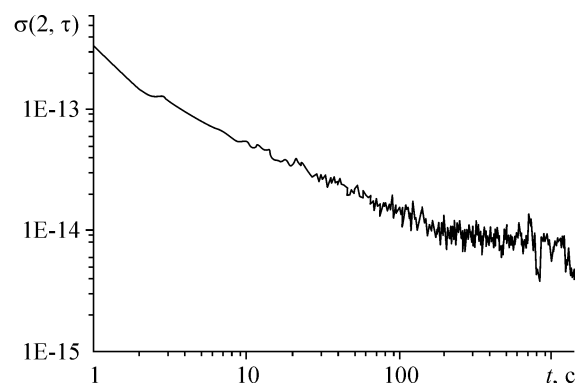


Рис. 19. Функция Аллана измерений частоты перехода $^1S_0 \rightarrow ^3P_1$ атомов Mg.

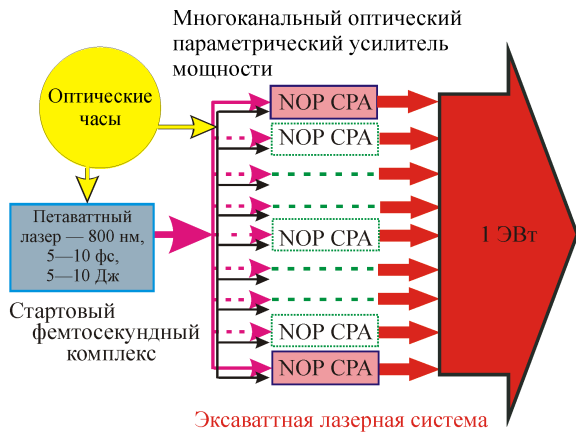


Рис. 20. Принципиальная схема лазерной системы эксаваттной пиковой мощности.

NOP CPA — канал с неколлинеарным оптическим параметрическим усилителем.

стью, определяемой стабильностью стандарта частоты.

В этом же Институте разработан и исследован новый метод векторной магнитометрии, использующий резонансы электромагнитно индуцированной прозрачности (ЭИП) в парах щелочных металлов. В предложенном ЭИП-магнитометре (рис. 21), в отличие от всех известных атомных магнитометров, используется нестандартная схема возбуждения резонансных уровней атомов ^{87}Rb линейно-поляризованным бихроматическим полем.

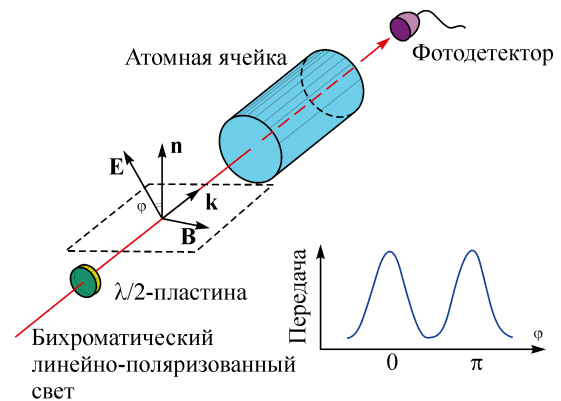


Рис. 21. Принципиальная схема магнитометра.

В первых экспериментах, выполненных в ФИАНе, была достигнута чувствительность к угловым вариациям ориентации магнитного поля на уровне $0,001$ радиан/Гц $^{1/2}$, которая в дальнейшем может быть улучшена до уровня $0,0001$ радиан/Гц $^{1/2}$. Предложенный метод может найти широкое применение в современных навигационных системах, контрольно-измерительных приборах для мониторинга физических, биологических и других процессов.

В Институте физики полупроводников им. А. В. Ржанова реализован новый неразрушающий метод диагностики ультрахолодной плазмы в газе холодных ридберговских атомов Rb в магнитооптической ловушке. В экспериментах исследовано влияние электрического поля фотоионов, образующихся при лазерном

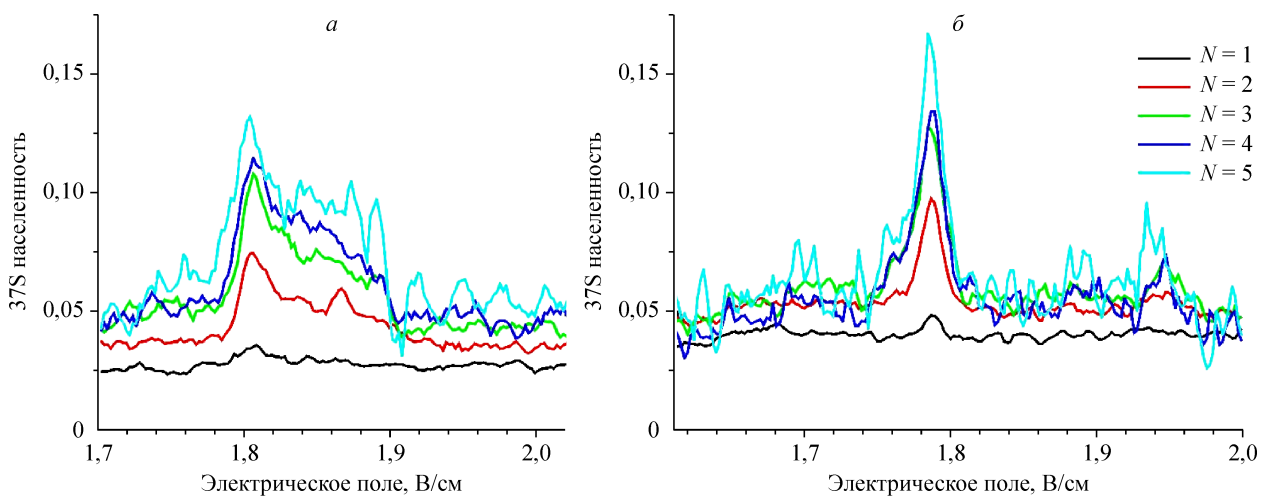


Рис. 22. Экспериментальные записи спектра резонанса Ферстера в холодных атомах Rb для разного числа зарегистрированных ридберговских атомов N : а — в присутствии холодных фотоионов, образующихся при лазерном возбуждении ридберговского состояния 37P. Электрическое поле фотоионов сдвигает и уширяет резонанс Ферстера; б — дополнительный электрический импульс (5 В/см, 2 мкс) быстро вытягивает фотоионы. Наблюдается узкий резонанс Ферстера в поле 1,79 В/см.

возбуждении ридберговского состояния $37P$, на спектр микроволнового резонанса Ферстера $Rb(37P) + Rb(37P) \rightarrow Rb(37S) + Rb(38S)$ для малого числа ($N = 1—5$) холодных ридберговских атомов Rb в состоянии $37P$. Обнаружено, что поле фотоионов приводит к сдвигу и асимметричному уширению резонанса Ферстера (рис. 22, а). Это позволяет определить среднее

электрическое поле фотоионов и его неоднородность, а оригинальная методика регистрации заряженных частиц — их количество в объеме возбуждения. При использовании дополнительного импульса электрического поля, вытягивающего фотоионы, резонанс Ферстера значительно сужается (рис. 22, б).

Программа П.8.2. Фундаментальные проблемы взаимодействия излучения с веществом (координатор член-корр. РАН А. М. Шалагин)

В Институте автоматики и электрометрии впервые получена стационарная узкополосная ($<1,5$ нм) лазерная генерация за счет усиленного рэлеевского рассеяния в длинном (83 км) пассивном оптическом волокне с высокой ($>30\%$) эффективностью преобразования накачки (рис. 23). Созданный лазер со случайной распределенной обратной связью (сРОС) отличается от объемных «случайных» лазеров узким спектром, высокой временной/пространственной стабильностью и качеством выходного пучка. В отличие от обычных волоконных лазеров с периодическими отражателями (точечными и распределенными), рэлеевский волоконный сРОС-лазер генерирует «безмодовое» излучение и не имеет принципиальных ограничений по длине, а также может достаточно просто перестраиваться по частоте и генерировать на многих линиях в разных спектральных диапазонах без селекторов и зеркал. Уникальные свойства рэлеевских сРОС-лазе-

ров открывают новый класс лазерных источников, которые могут найти применения как в фундаментальных и прикладных исследованиях, так и на практике, в частности, в сверхдальней оптической связи и распределенных сенсорных системах.

В этом же Институте разработан и создан комплекс программно-аппаратных средств управления процессом лазерной записи на основе адаптивной коррекции с прогнозированием дрейфа системы для обеспечения изготовления дифракционной структуры синтезированной голограммы (СГ) с погрешностью выполнения линейных размеров менее 20 нм по полю 230 мм. С помощью этого комплекса разработаны и изготовлены уникальные СГ диаметром до 230 мм со среднеквадратичной погрешностью формируемого волнового фронта $\lambda/100$ для контроля крупнейших в мире большого южноафриканского телескопа SALT с диаметром главного зеркала 11 метров и осевого сегмента телескопа E-ELT (European Extremely Large Telescope), имеющего диаметр главного зеркала 42 м. На рис. 24 приведена схема контроля оптической системы телескопа SALT и фотография изготовленной СГ.

В этом же Институте разработан малогабаритный терагерцевый (ТГц) спектрометр на базе фемтосекундного волоконного лазера с применением методов оптической генерации и поляризационно-оптической регистрации ТГц-излучения. Созданы экспериментальные образцы спектрометра на пропускание и отражение, обладающие спектральным диапазоном — 0,2—2,6 ТГц, динамическим диапазоном (по напряженности ТГц-поля) — 400, спектральным разрешением — 10 ГГц, и временным разрешением — 100 фс (рис. 25). Предложена методика расчета комплексного показателя пре-

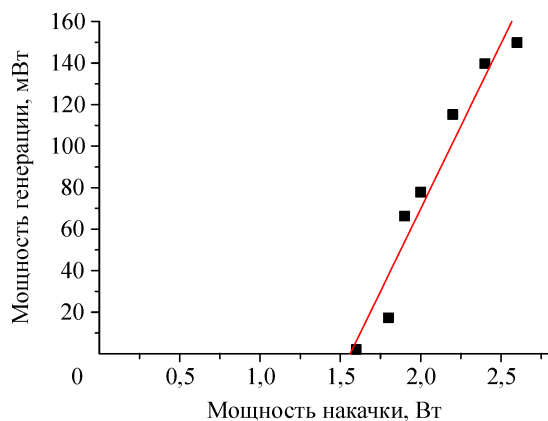


Рис. 23. Мощность генерации волоконного рэлеевского сРОС-лазера с длиной волны ~ 1550 нм (с одного выхода) в зависимости от мощности накачки с длиной волны 1455 нм.

ломления материалов по их терагерцевым спектрам. Экспериментально определены спектральные зависимости показателей преломления и коэффициентов поглощения кристаллов германата свинца и бета-бората бария. Выявлены

закономерности трансформации терагерцевого фоновонного поглощения в кристаллах германата свинца в зависимости от температуры (рис. 26).

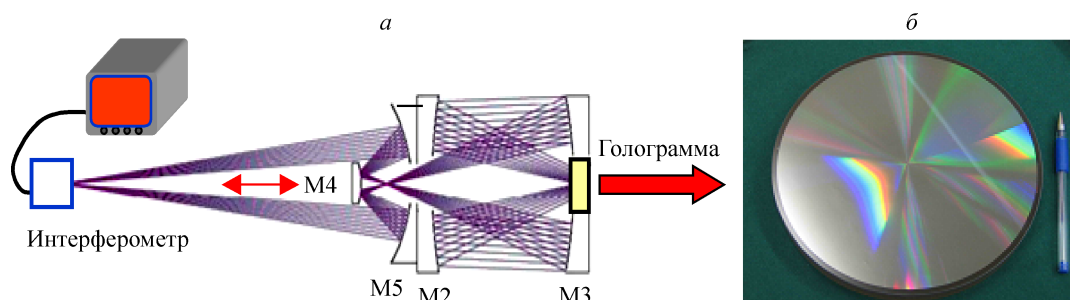


Рис. 24. Схема контроля оптической системы телескопа SALT (а) и СГ диаметром 230 мм (б).

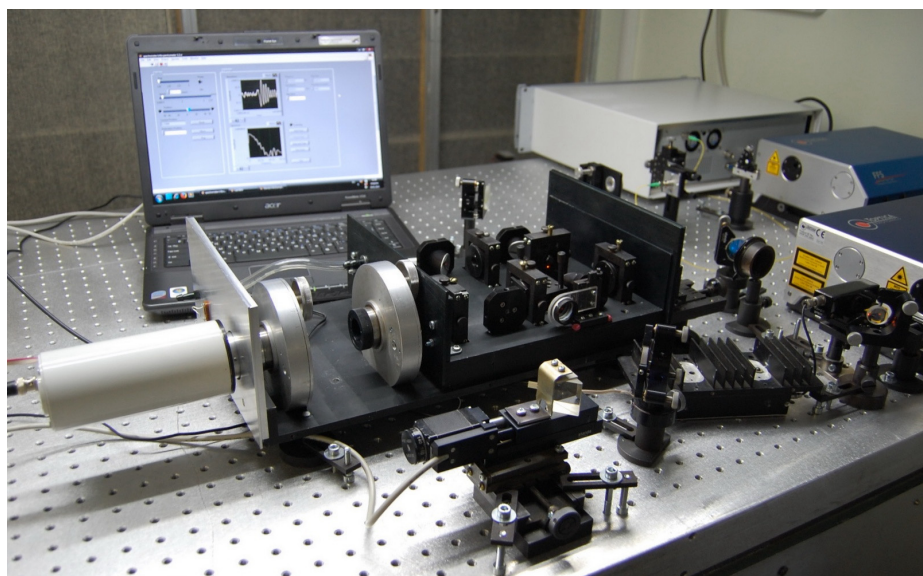


Рис. 25. Терагерцевый спектрометр на пропускание.

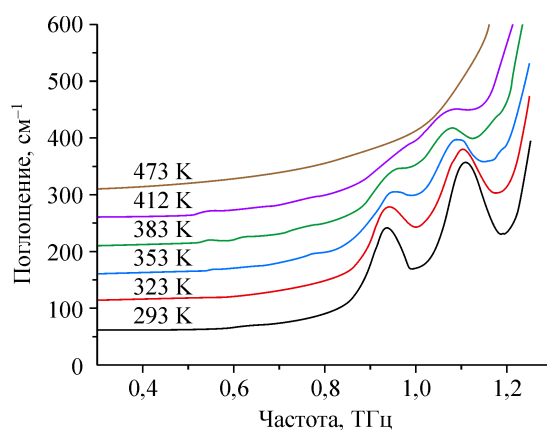


Рис. 26. Трансформация терагерцевого фоновонного поглощения в кристалле германата свинца в зависимости от температуры.

Программа П.8.3. Фундаментальные проблемы оптики и дистанционного зондирования атмосферы (координатор докт. физ.-мат. наук Г. Г. Матвиенко)

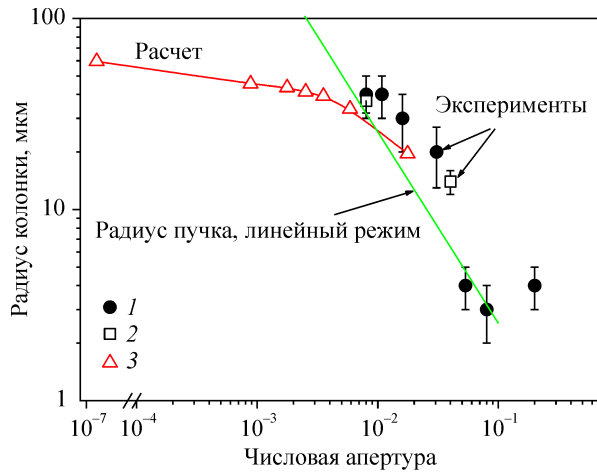


Рис. 27. Экспериментальная (1, 2) и расчетная (3) зависимости среднего радиуса плазменного образования от числовой апертуры фокусирующей системы.

В Институте оптике атмосферы им. В. Е. Зуева и Физическом институте им. П. Н. Лебедева РАН экспериментально и теоретически установлено, что варьированием числовой апертурой и мощностью лазерного пучка можно управлять в широких пределах поперечным размером, продольным масштабом филаментов, пиковой интенсивностью светового поля и степенью ионизации газа в филаменте (рис. 27).

В этом же Институте разработан и апробирован не имеющий мировых аналогов метод моделирования распространения некогерентного лазерного излучения и формирования некогерентного изображения в турбулентной атмосфере (рис. 28). Высокая эффективность численного метода позволила получить решения для нового класса практически важных

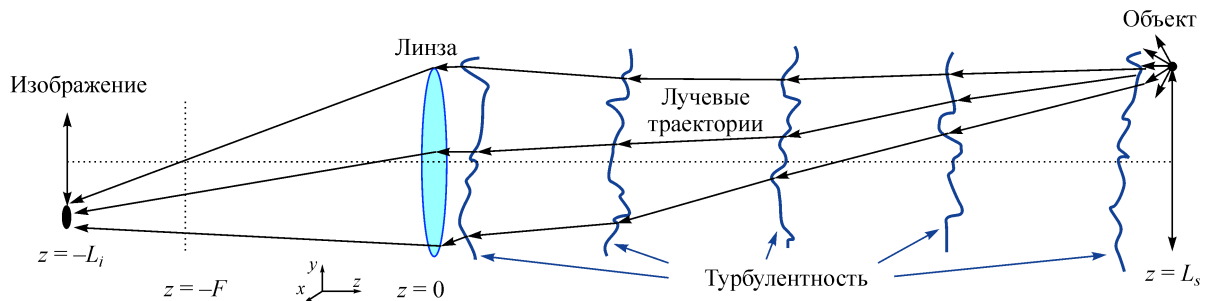


Рис. 28. Схема формирования некогерентного изображения объекта, расположенного в плоскости $z = L_s$, $z = 0$ — апертура приемного телескопа, $z = -L_i$ — плоскость резкого изображения объекта.

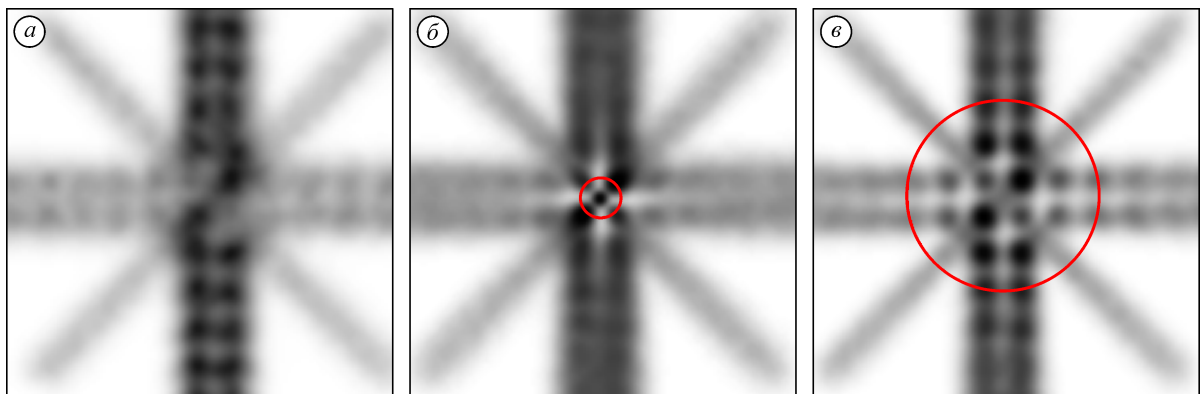
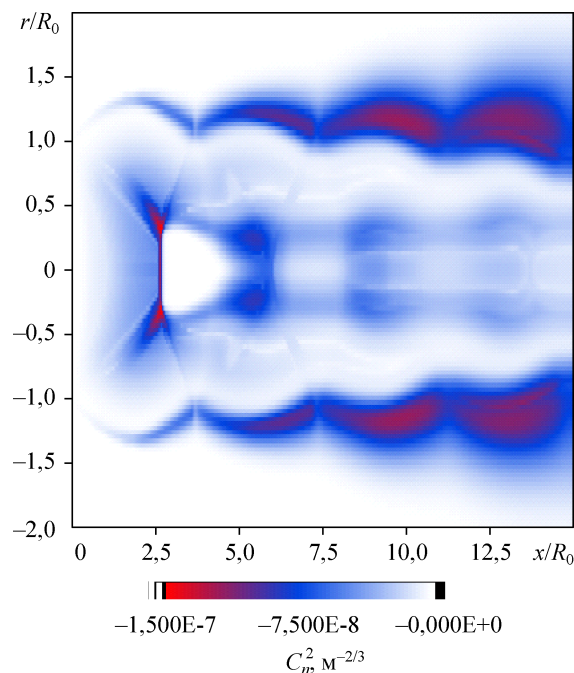


Рис. 29. Некогерентное длинноэкспозиционное изображение объекта в турбулентной атмосфере.

Изображение без использования адаптивной фазовой коррекции (а), с использованием фазовой коррекции по когерентному точечному источнику (б) и протяженному некогерентному источнику (в). Красной окружностью отмечена область улучшения качества изображения.

Рис. 30. Пример распределения структурной характеристики C_n^2 в сверхзвуковой струе (расчет в рамках оптической модели).

r — радиальная координата, R_0 — радиус сопла.



задач в проблеме формирования пучков и изображений с использованием адаптивной оптики, решение которых было невозможно другими методами (рис. 29).

в этом же Институте предложена оптическая модель турбулентности в сверхзвуковой струе, учитывающая сжимаемость газа, сильную неоднородность потока и пространственные вариации внешнего масштаба неоднородностей показателя преломления (рис. 30), и на ее основе разработан метод восстановления радиальной зависимости средней плотности воздуха и структурной характеристики показателя преломления (рис. 31).

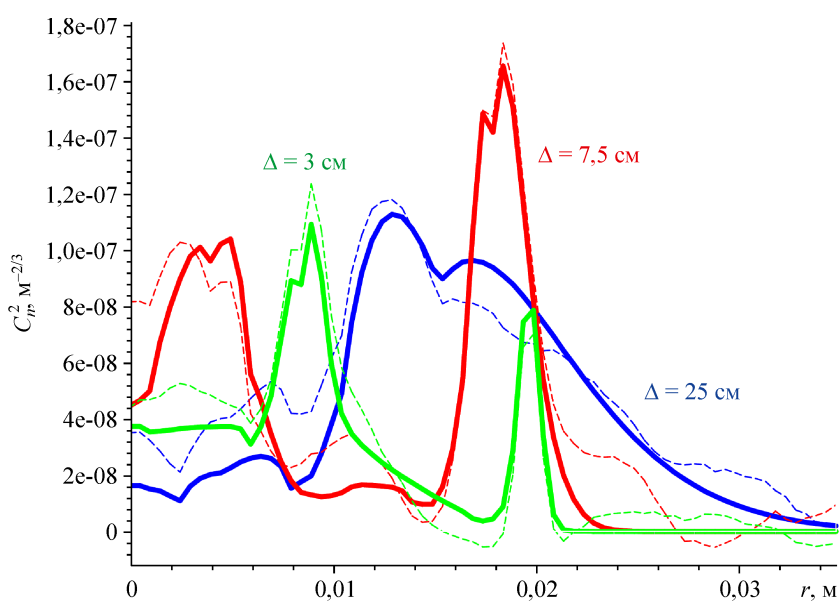


Рис. 31. Восстановление (штриховые линии) радиальных зависимостей структурной характеристики C_n^2 в струе в численных экспериментах (сплошные линии).

Δ — расстояние от среза сопла до плоскости анализа.