

ПРИОРИТЕТНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ 2.3.

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОПТИКИ И ЛАЗЕРНОЙ ФИЗИКИ

Программа СО РАН 2.3.1. Оптика, лазерная физика (координатор акад. С. Н. Багаев)

Учеными Института лазерной физики определены перспективные пути и методы развития фемтосекундных лазерных источников излучения предельно короткой длительности с пиковой мощностью эксаваттного уровня, что открывает путь к созданию лазерных систем с ультрарелятивистской интенсивностью. За основу взят принцип когерентного сложения полей излучения усилительных каналов, частотно-фазовые параметры которых контролируются оптическим стандартом (оптическими часами), что позволяет формировать излучение с пиковой интенсивностью ультрарелятивистского уровня $I > 10^{25}$ Вт/см² (рис. 13).

Учеными этого же Института на первой в России магнитооптической ловушке для щелочно-земельных атомов выполнен эксперимент по спектроскопии сверхвысокого разрешения холодных атомов Mg, направленный на создание оптического стандарта частоты ново-

го поколения с долговременной стабильностью $\sim 10^{-17}$ (рис. 14). Методом разнесенных во времени световых полей зарегистрированы резонансы Рамси—Борде со спектральным разрешением порядка 10 кГц (рис. 15).

В этом же Институте обнаружен новый эффект нелинейного термоориентационного взаимодействия центрально-симметричных жидкокристаллических сред с тепловым потоком. Данное взаимодействие в ИК-диапазоне приводит к оптической нелинейности пятого порядка, сравнимой или превышающей нелинейности низших порядков, что предлагается использовать в качестве механизма снятия исходной, центральной симметрии жидких кристаллов.

На рис. 16 приведен результат нелинейного воздействия ИК-излучения, приводящего к радиальной ориентации длинных осей молекул жидкого кристалла в направлении распространения излучения.



Рис. 13. Принципиальная схема эксаваттной фемтосекундной лазерной системы с предельно короткой длительностью импульсов.

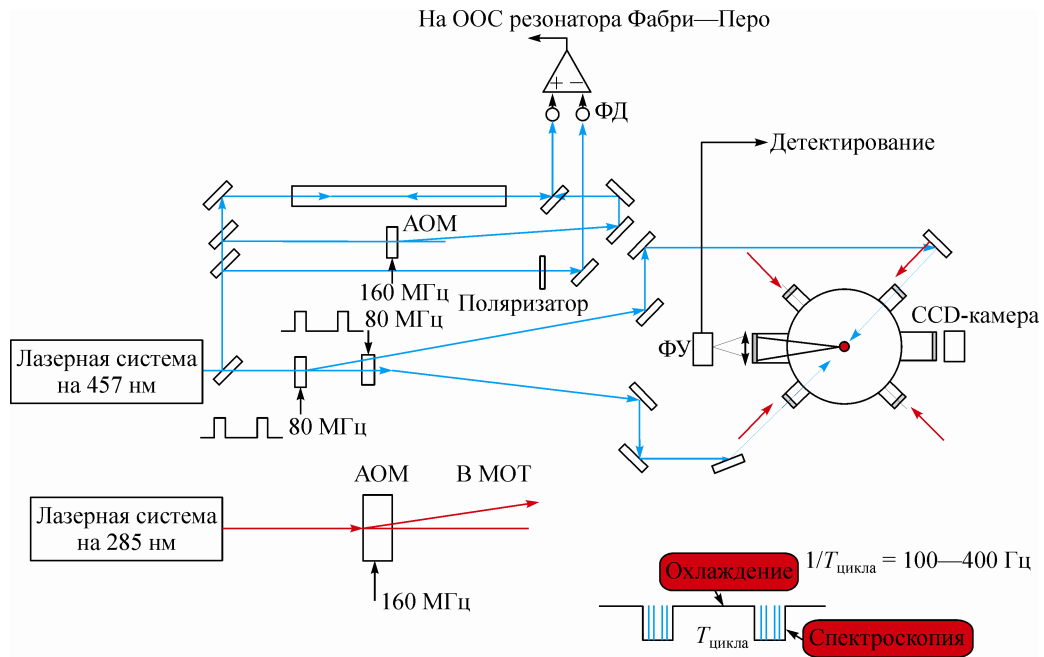


Рис. 14. Схема эксперимента по спектроскопии холодных атомов магния в магнитооптической ловушке методом разнесенных во времени оптических полей (схема Рамси—Борде).

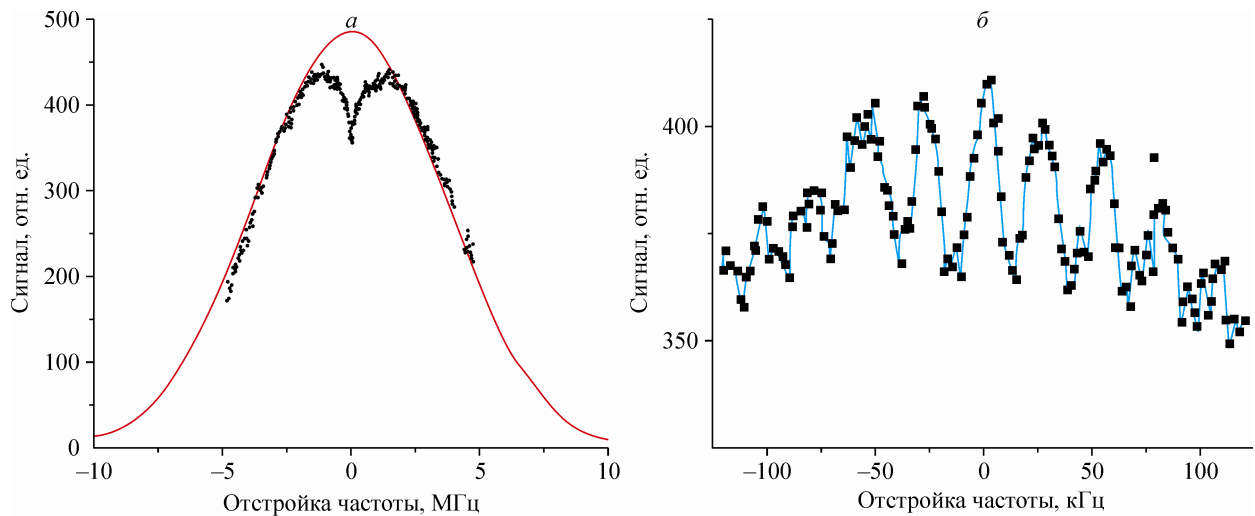


Рис. 15. Форма линии поглощения охлажденных атомов магния в магнитооптической ловушке на переходе $^1S_0 \rightarrow ^3P_1$:

a — доплеровский контур поглощения холодных атомов Mg в ловушке (сплошная линия — аппроксимация гауссовой функцией с полушириной $\Delta\nu_{\text{доплер}} = kv = 5,2$ МГц); *б* — резонансы Рамси—Борде.

Учеными Иркутского филиала Института лазерной физики обнаружен эффект продольной спектральной селекции люминесценции широкощелевых соединений, возбуждаемой интенсивным нерезонансным фемтосекундным лазерным излучением (рис. 17). Эффект может быть использован для пространственно-селективного возбуждения различных типов исходных квантовых систем, имеющих в изучае-

мой среде и характеризующихся различной степенью нелинейности возбуждения.

Учеными Института лазерной физики создан макет компактного фемтосекундного синтезатора на основе Cr:Forsterite-лазера (рис. 18). Синтезатор предназначен для использования в фундаментальных и прикладных научных исследованиях, в оптоволоконных линиях связи как высокостабильный опорный генератор и в

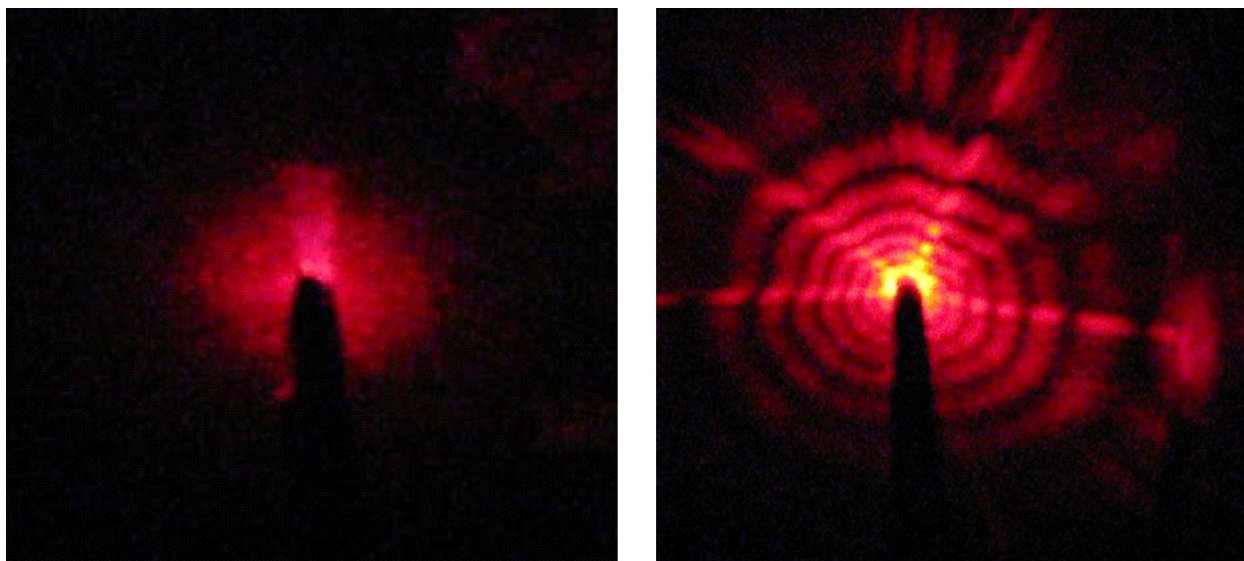


Рис. 16. Поперечная картина лазерного излучения, прошедшего ЖК-среду. Слева — низкая мощность излучения. Справа — уровень мощности превышает порог возникновения нелинейности пятого порядка.

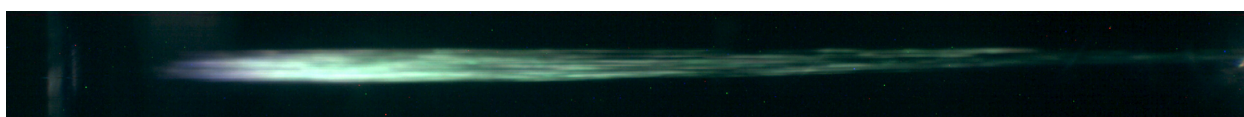


Рис. 17. Вид люминесцирующего канала в кристалле LiF, возбуждаемом излучением титан-сапфирового лазера. Свечение начальной части канала является фиолетовым, а далее цвет становится зеленым.

системе ГЛОНАСС как возможная альтернатива фемтосекундному Ti : Sa-синтезатору.

Учеными этого же Института впервые создан лазер в ближней ИК-области спектра на электронных переходах молекул водорода. Достигнута рекордная в настоящее время им-

пульсная мощность генерации H₂-лазера — 6,7 кВт (рис. 19).

Учеными Института лазерной физики и Института геологии и минералогии им.В. С. Соболева проведена принципиальная модификация раствор-расплавного метода выращивания

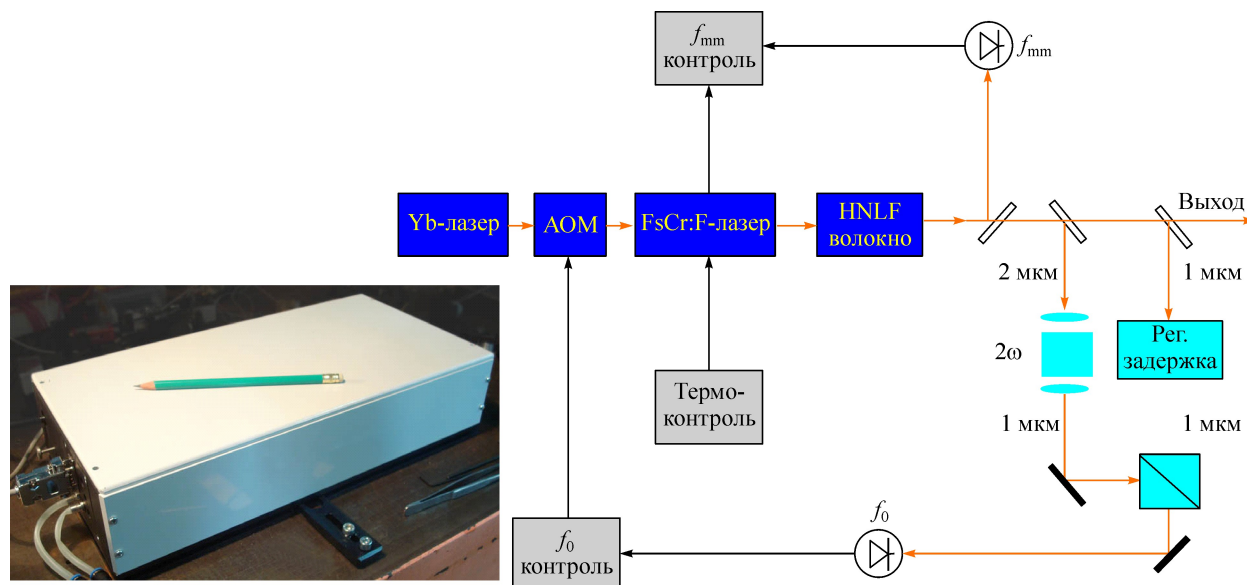


Рис. 18. Схема и внешний вид синтезатора на основе Cr : Forsterite-лазера.

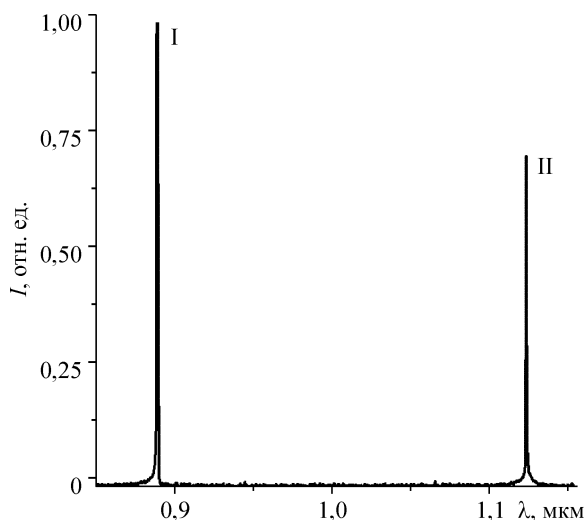


Рис. 19. Относительная интенсивность спектральных линий генерации H_2 -лазера при давлении водорода 2 Торр и пропускании выходного зеркала $T = 80\%$ на $\lambda = 0,89$ мкм (I) и $T = 40\%$ на $\lambda = 1,12$ мкм (II).

способом Киропулоса кристаллов ВВО и LBO высокого оптического качества, позволяющая вырастить кристаллы ВВО весом до 325 г, пригодные для создания высококачественных нелинейно-оптических элементов размером до $35 \times 35 \times 15$ мм (рис. 20), и кристаллы LBO весом до 1500 г. Получены элементы диаметром до 50 мм с величиной поглощения на длине волны 1,064 мкм около 5 ppm/cm (рис. 21).

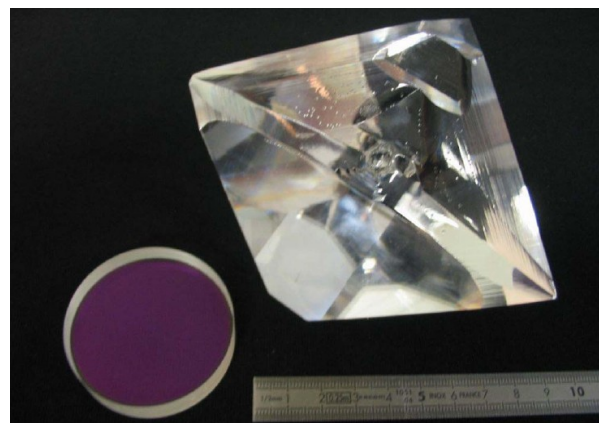


Рис. 20. Кристалл ВВО, выращенный из фторсодержащего флюса, весом 325 г.



Рис. 21. Кристалл LBO рекордных размеров и удвоитель частоты Nd:YAG-лазера диаметром 50 мм и толщиной 12 мм.

Программа 2.3.2. Фундаментальные проблемы взаимодействия излучения с веществом (координатор член-корр. РАН А. М. Шалагин)

Учеными Института автоматики и электрометрии теоретически и экспериментально показано, что электроны, локализованные на глубоких ловушках, могут быть оптически удалены из рабочей области кристалла ниобата лития при умеренно высоких температурах. Уменьшение концентрации электронов может составлять несколько порядков, что существенно меняет физические свойства материала, такие как положение уровня Ферми, коэффициент поглощения света, порог оптического повреждения. В основе метода оптической чистки лежат фотогальванический дрейф электронов вдоль полярной оси и зарядовая компенсация оптически пассивными термоактивированными ионами (рис. 22). Использование двигающихся световых пучков резко повышает

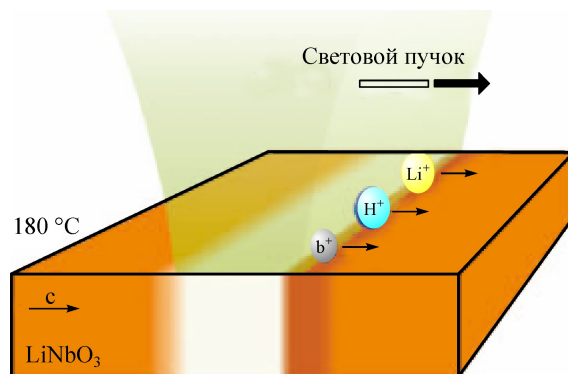


Рис. 22. Принцип чистки. Световый пучок возбуждает электроны с Fe^{2+} -центров и вызывает их движение вдоль полярной оси c . Цвет передает концентрационный профиль электронов. Ионы обеспечивают нейтральность.

скорость чистки. Важнейшими внешними параметрами, помимо температуры и скорости пучка, являются его интенсивность и поперечный размер. В эксперименте поглощение света после чистки стало ненаблюдаемым, а порог оптического повреждения вырос более чем на три порядка. Метод применим к многочисленным материалам, обладающим объемным фотогольваническим эффектом.

Учеными этого же Института продемонстрирована эффективная генерация второй гармоники (ГВГ) излучения неполяризованного многочастотного ВКР-лазера в периодически ориентированном кристалле LiNbO_3 . При увеличении мощности ВКР-лазера мощность ГВГ возрастала линейно даже тогда, когда ширина спектра ВКР-лазера значительно превы-

шала ширину синхронизма кристалла (рис. 23). Расчет показал, что основной вклад дают процессы суммирования частот (продольных мод) внутри спектра ВКР-лазера. При этом из-за случайности фаз, обусловленной турбулентным характером уширения спектра ВКР-лазера, эффективность ГВГ увеличивается в 2 раза по отношению к ГВГ одночастотного излучения (см. рис. 23, б). При уширении спектра сверх ширины синхронизма кристалла коэффициент увеличения уменьшается. В результате реализован новый источник излучения с длиной волны 655 нм мощностью более 60 мВт, обладающий преимуществами перед традиционными.

Учеными Института автоматики и электротехники и Университета Анже (Франция) на

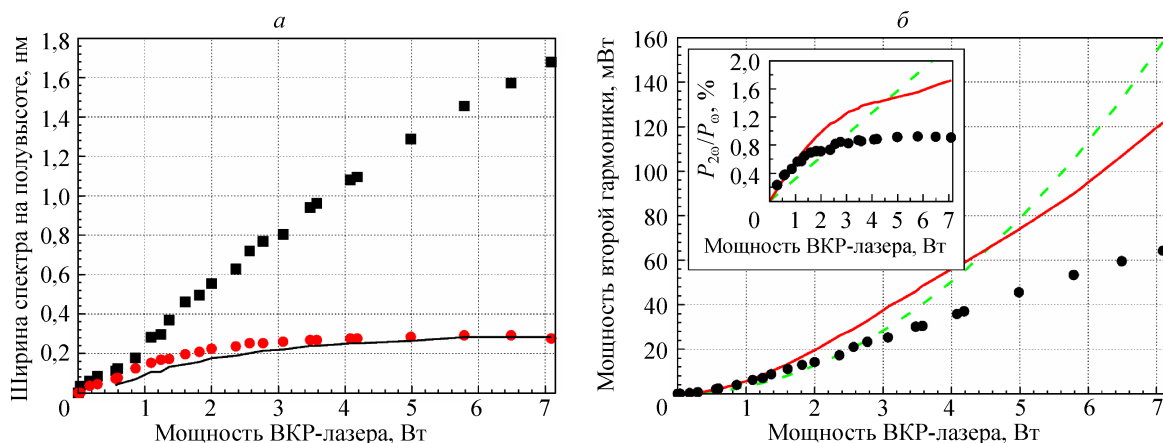


Рис. 23. Зависимость от мощности ВКР-лазера ширины спектра излучения (а) и расчетной и экспериментальной мощности второй гармоники (б).

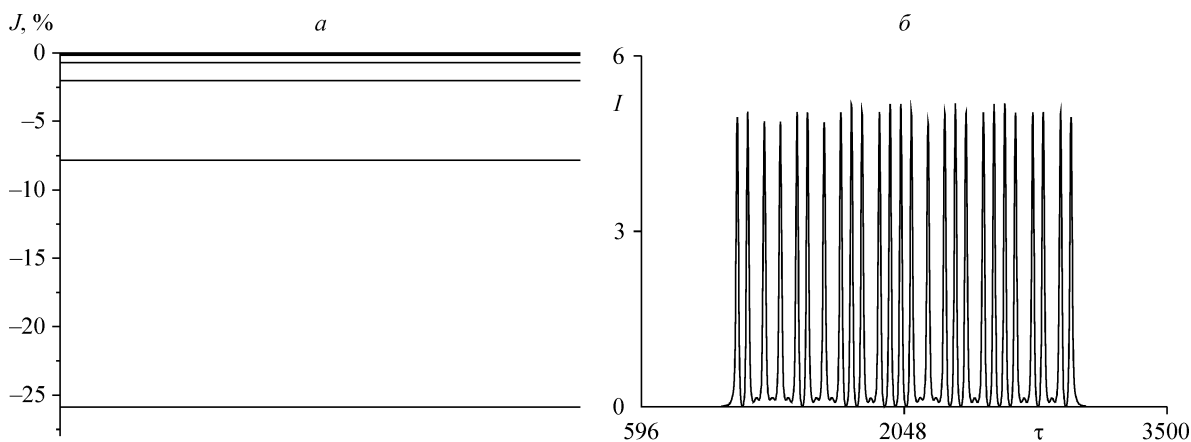


Рис. 24. Энергия связи двух взаимодействующих импульсов, деленная на энергию одиночного импульса (а) и цуг связанных солитонов, в котором число 18051957 закодировано в двоичной системе с использованием основного и первого возбужденного типов связей (18.05.1957 — дата учреждения ИАиЭ СО РАН) (б). В случае основного типа связи амплитуды соседних импульсов противофазны, в случае первого возбужденного типа связи — синфазны.

основе численного моделирования и аналитических расчетов обнаружены связанные состояния ультракоротких импульсов в волоконных лазерах с энергией связи в несколько десятков процентов от энергии одиночного импульса. Показано, что два взаимодействующих солитона могут образовывать устойчивые состояния с различными квантовыми значениями энергии связи (рис. 24, а). Полученные результаты представляют интерес для реализации высокостабильных помехоустойчивых информационных последовательностей ультракоротких импульсов в волоконных линиях связи.

В Институте автоматики и электрометрии обнаружен эффект большой угловой дисперсии для пленок опала в видимом диапазоне спектра, который наблюдался при преломлении и отражении света на границе стекло—фотонный кристалл (ФК). Показано, что на фоне неизменного углового спектра отраженных и преломленных волн проявляется стоп-зона ФК, которая меняет свое спектральное положение при незначительном изменении концентрации ряда веществ, заполняющих ФК (рис. 25). продемонстрировано применение такой оптиче-

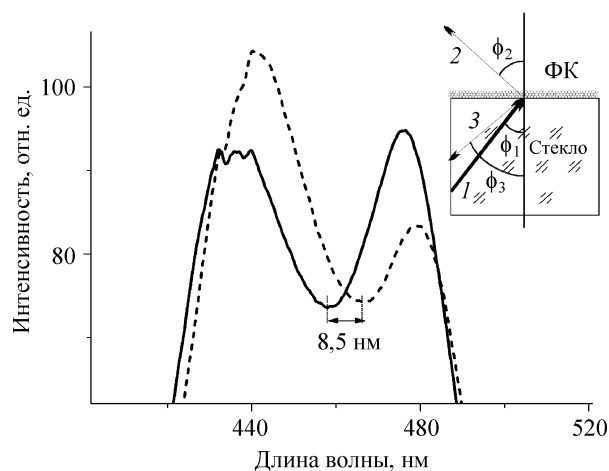


Рис. 25. Изменение положения стоп-зоны в спектре преломленной брэгговской волны при воздействии паров аммиака с концентрацией $0,2 \text{ мг/м}^3$.

Сплошная линия — до воздействия, штриховая — после воздействия. На врезке показана схема взаимодействия света с ФК-пленкой опала на стеклянной подложке: 1 — падающий пучок белого света, 2 — отрицательно преломленная волна, 3 — отраженная волна.

ской системы в качестве высокочувствительного оптического химического сенсора.

Программа 2.3.3. Актуальные вопросы оптики атмосферы (координатор докт. физ.-мат. наук Г. Г. Матвиенко)

Учеными Института оптики атмосферы им. В. Е. Зуева в совместных с Мэрилендским университетом (США) исследованиях установлен эффект суперфокусировки лазерного излучения. Показано, что итерационная адаптивная амплитудно-фазовая коррекция позволяет сфокусировать излучение лазерного пучка через турбулентную атмосферу на шероховатую поверхность объекта в пятно, размеры которого меньше дифракционного (рис. 26).

В этом же Институте разработана теория световых столбов, возникающих при преимущественно горизонтальной ориентации ледяных кристаллов в атмосфере. Полученные аналитические выражения позволяют восстанавливать как распределение кристаллов по ориентациям, так и их размеры, исходя из наблюдаемого распределения интенсивности света в световых столбах (рис. 27—29).

Учеными Института оптики атмосферы им. В. Е. Зуева развита теория насыщенного

поглощения излучения на дипольно-запрещенных переходах атомов. Предложен новый метод лазерного зондирования атомарных составляющих атмосферы, основанный на генерации незатухающего стока излучения в направлении, обратном направлению зондирующего излучения, резонансного запрещенному переходу. Показана его более высокая чувствительность по сравнению с изотропными методами зондирования (рис. 30, 31).

На основании многолетнего самолетного мониторинга парниковых газов над югом Западной Сибири учеными этого же Института установлено, что концентрация CO_2 и N_2O растет во всей толще зондируемой атмосферы (0—7 км) с темпом $1,9 \text{ млн}^{-1}/\text{год}$ и $0,73 \text{ млрд}^{-1}/\text{год}$ соответственно. При этом в многолетнем ходе концентрации CH_4 обнаружены периодические вариации без однозначного тренда (рис. 32). Последнее не совпадает с данными глобальной сети мониторинга.

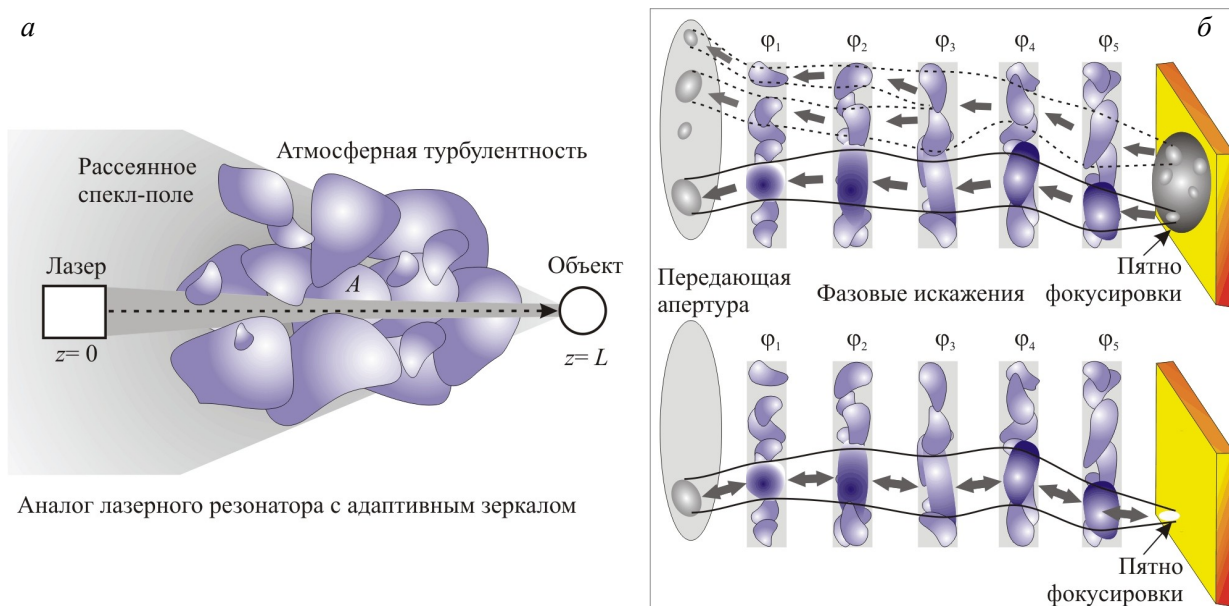


Рис. 26. Схема формирования замкнутого контура распространения прямого и отраженного от объекта излучения при адаптивной фокусировке лазерного пучка на объект через турбулентную среду (*a*) и схема селекции наиболее энергетически выгодного (фокусирующего) канала (*б*).

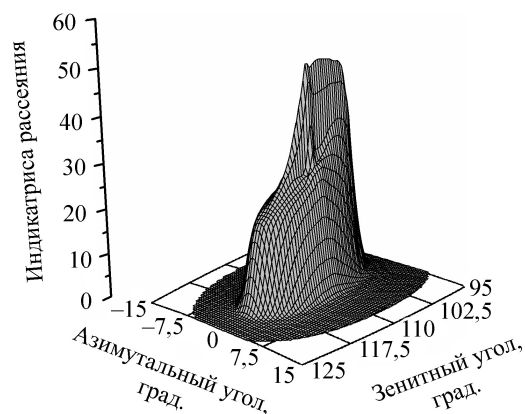
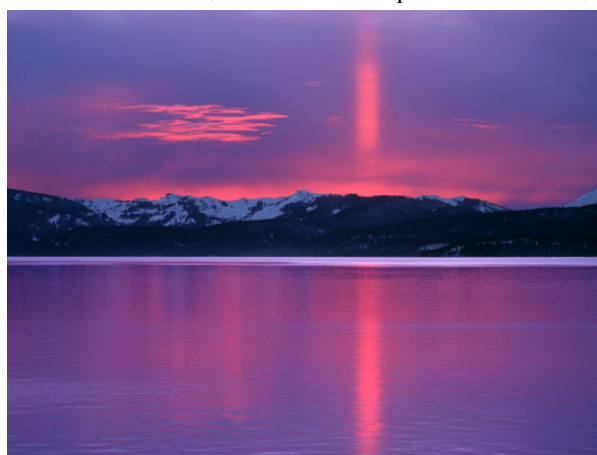


Рис. 27. Солнечный световой столб и рассчитанная индикатриса зеркальной компоненты рассеянного света.

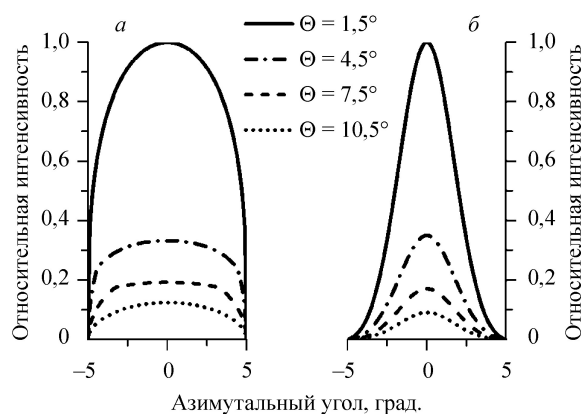


Рис. 28. Световые столбы над наземными источниками света и рассчитанные горизонтальные профили интенсивности рассеянного света для равномерного и гауссова распределений случайных углов ориентации кристаллов.

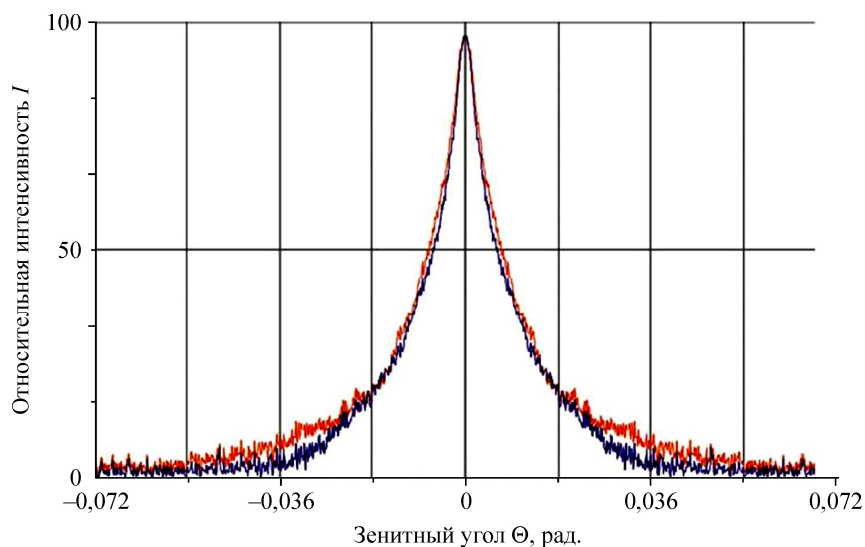


Рис. 29. Восстановление максимального угла наклона ледяных кристаллов F и их среднего размера D из углового распределения интенсивности $I(\theta)$ зеркальной компоненты рассеянного света для двух длин волн интенсивности $\Delta\theta \sim \lambda/D + 2F$.

Рис. 30. Безразмерная амплитуда (V) стоксова излучения в зависимости от оптической толщины ξ и отношения δ отстройки частоты однофотонной накачки от частоты дипольно-запрещенного перехода, нормированной на однородную полуширину линии.

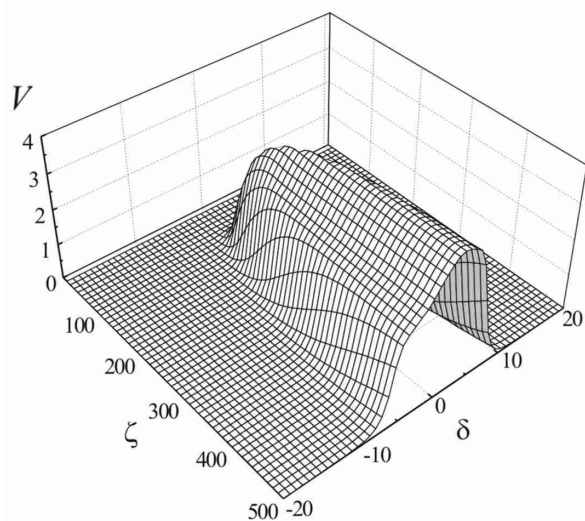
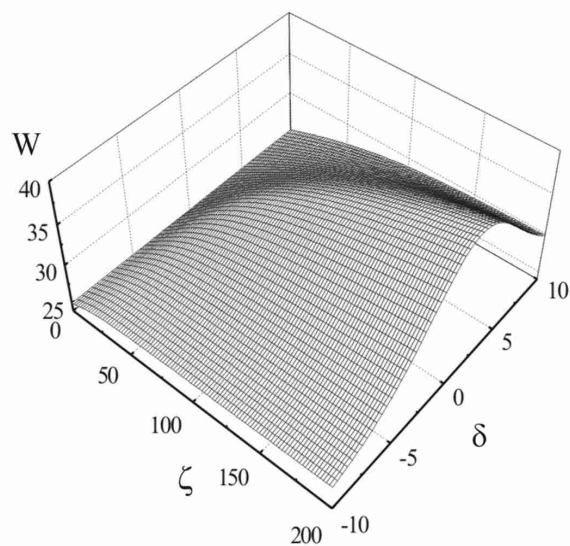


Рис. 31. Усиление интенсивности W стоксова излучения в схеме вынужденного гиперкомбинационного рассеяния на разрешенном переходе в зависимости от оптической толщины ξ и отношения δ отстройки частоты двухфотонной накачки от частоты дипольно-запрещенного перехода.



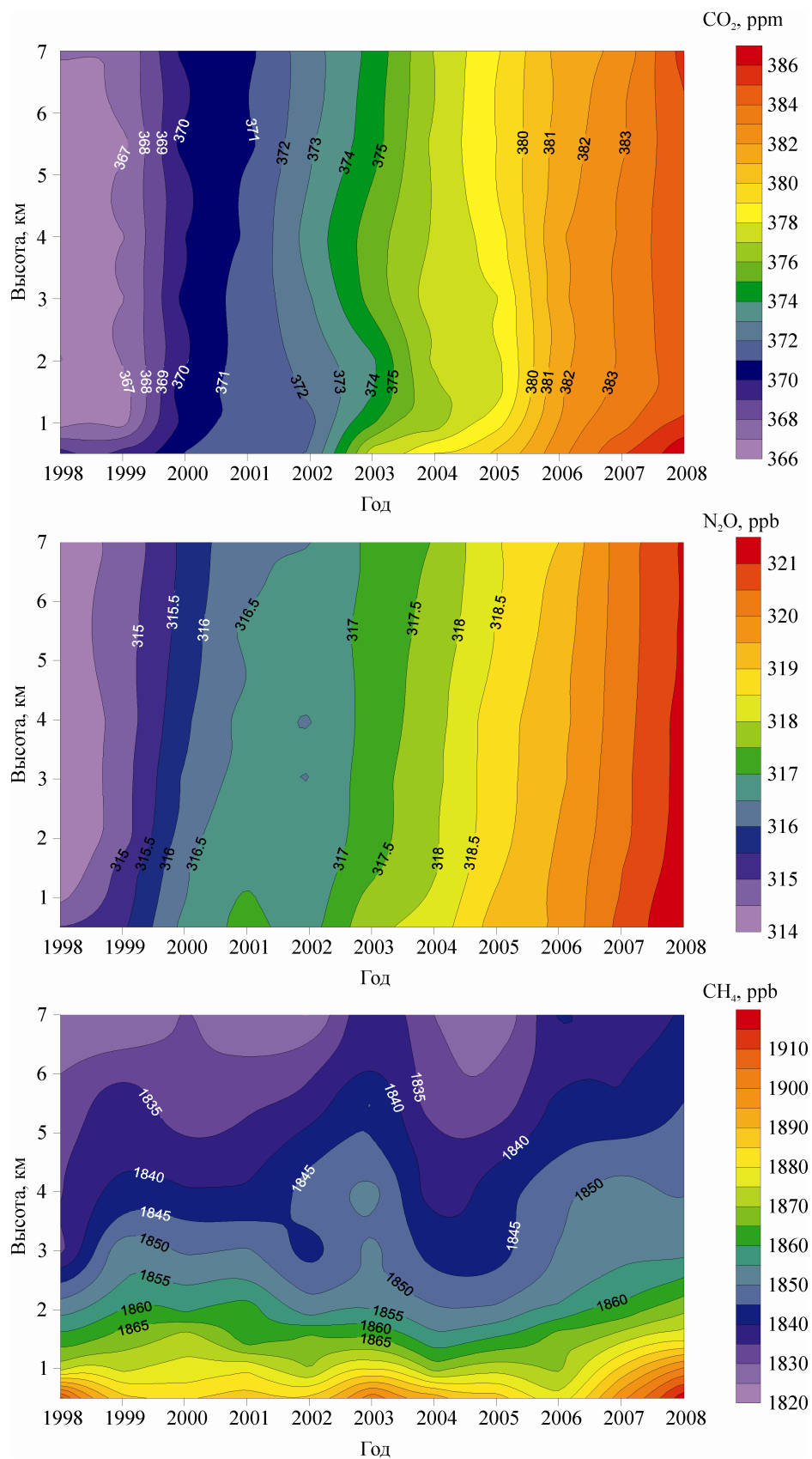


Рис. 32. Многолетняя изменчивость концентрации парниковых газов над югом Западной Сибири.