

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 впервые предложен революционный метод существенного (вплоть до трех порядков от своей величины) подавления сдвига частоты «часового» перехода в атоме или ионе, связанного с тепловым излучением окружающей среды (так называемый «blackbody radiation shift»). В настоящее время в ИЛФ совместно с Физико-техническим Институтом (РТВ, Брауншвейг, Германия) ведутся работы по созданию $^{171}\text{Yb}^+$ -оптического стандарта частоты со стабильностью 10^{-16} — 10^{-17} (рис. 15).

В этом же Институте впервые экспериментально с помощью лазерных деформографов (рис. 16) в пространственно разнесенных точках Земли «Талгар» (Казахстан) — «Талая» (Байкальская рифтовая зона) установлено, что источником сверхдлиннопериодных деформационных колебаний Земли с периодом $T > 1$ ч являются сдвиговые колебания внутреннего ядра Земли.

В Институте лазерной физики с использованием лазерной плазмы и мощного магнитного диполя на уникальном стенде КИ-1 впервые

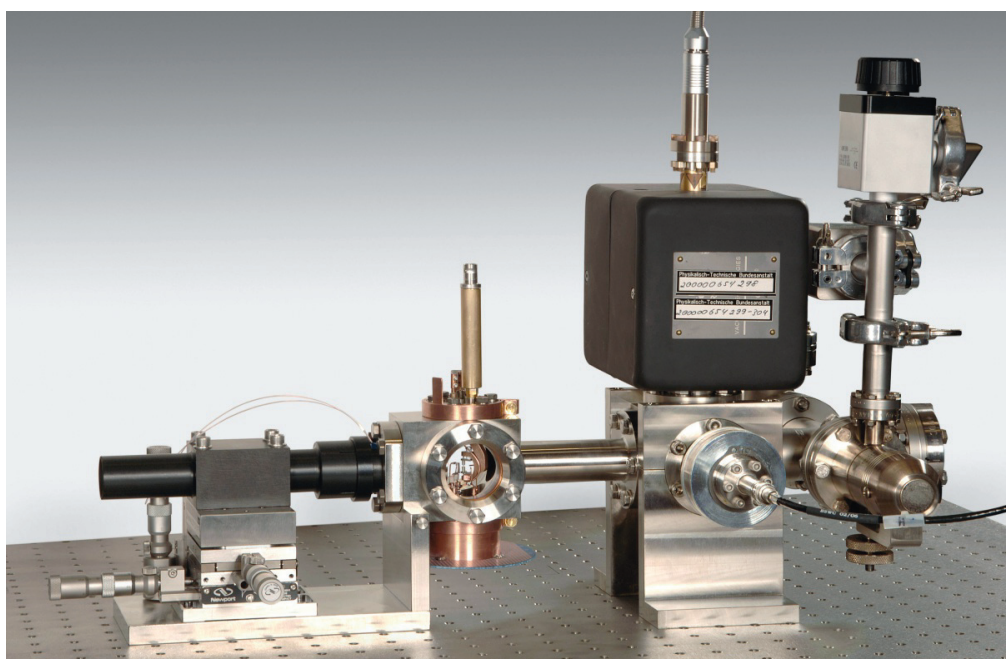


Рис. 15. $^{171}\text{Yb}^+$ -ионная ловушка и вакуумная система откачки.

про моделировано возможное экстремальное (вплоть до радиационных поясов) сжатие магнитопаузы Земли в результате воздействия на нее сверхмощного коронального выброса солнечного вещества (рис. 17).

Учеными Института лазерной физики в содружестве с учеными Института автоматики и электрометрии и Института физики полупроводников им. А. В. Ржанова проведены исследования по субдоплеровскому охлаждению атомов магния до температуры порядка 10 мК для создания нового поколения оптических стандартов частоты на основе ультрахолодных атомов магния в оптических «решетках» с относительной погрешностью частоты $\Delta\nu/\nu = 10^{-16}—10^{-17}$. Разработана схема охлаждения на замкнутом переходе $^3P_2—^3D_3$, проведены теоретические исследования по определению

оптимальных параметров охлаждения, разработаны и созданы лазерные системы для субдоплеровского охлаждения (рис. 18).

В Институте лазерной физики разработаны и созданы мобильные фемтосекундные оптические часы (рис. 19) с высокой долговременной стабильностью и воспроизводимостью всех основных параметров, что важно для практического использования.

Учеными Институтами автоматики и электрометрии, Органической химии, Лазерной физики, Теоретической и прикладной механики в рамках междисциплинарного проекта разработаны физические и экспериментальные основы трехмерной лазерной интерференционной микро- и макромодификации светочувствительных сред в режимах линейного и нелинейного (двухфотонного, двухступенчатого) поглоще-

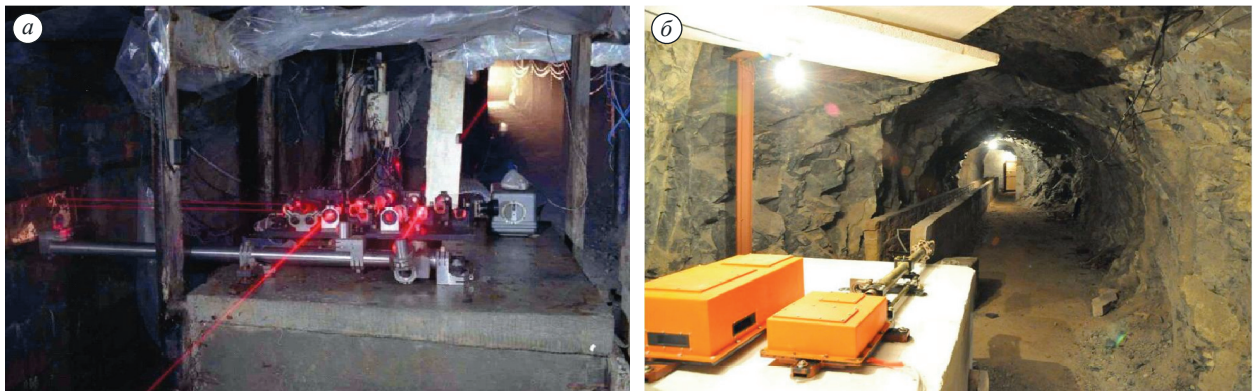


Рис. 16. Общий вид деформографов ИЛФ СО РАН в местах установки.

Лазерный деформограф на сейсмостанции «Талая» Байкальской рифтовой зоны (а) и лазерный деформограф в штольне «Талгар» (Казахстан) (б).

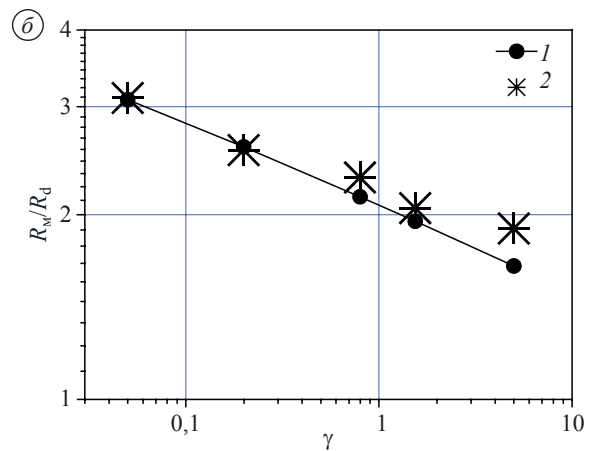
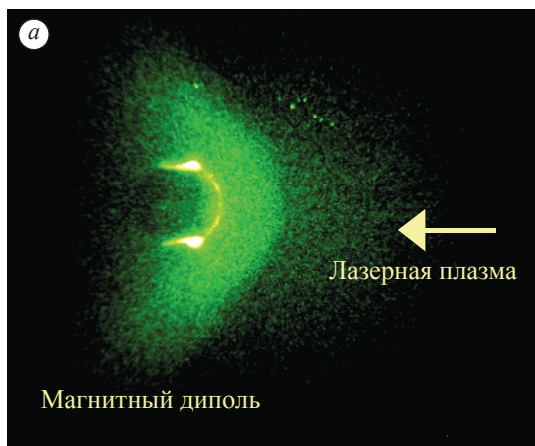


Рис. 17. Искусственная магнитосфера, время экспозиции $\Delta t = 30$ нс, радиус диполя $-3,75$ см, $\mu = 3 \cdot 10^5$ Гс·см³ (а) и зависимость положения магнитопаузы от параметра γ при изменении магнитного момента в интервале $\mu = 10^5 \div 10^7$ Гс·см³ (б).

1 — сканирование, 2 — эксперимент.

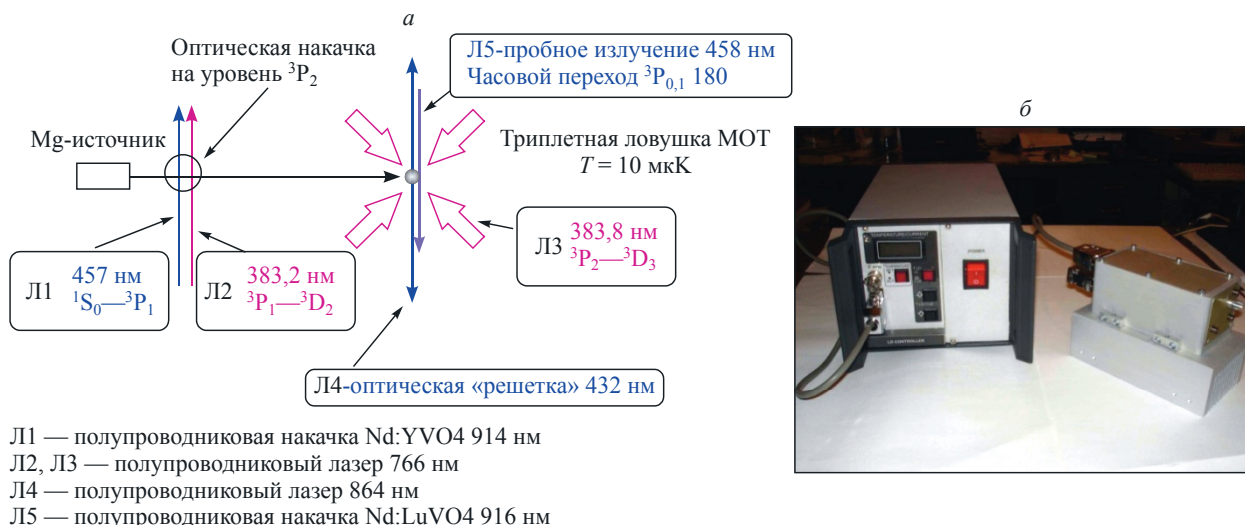


Рис. 18. Схема стандарта частоты на основе ультрахолодных атомов Mg в оптической «решетке» (а) и одно-частотный полупроводниковый лазер для субдоплеровского охлаждения магния (б).

ния. Опытным путем подтверждена возможность записи однородных микро- и макрорешеток во всем светочувствительном объеме изучаемых сред: фотополимерных материалов и электрооптических кристаллов ниобата и танталата лития. Предложены методы синтеза «толстых» фотополимерных материалов с ма-

лой усадкой, фотоиндуцированным изменением показателя преломления, механизмами линейного и нелинейного поглощения и т. п., включая томографические методы исследования их пространственных, в том числе послойных, свойств (рис. 20).

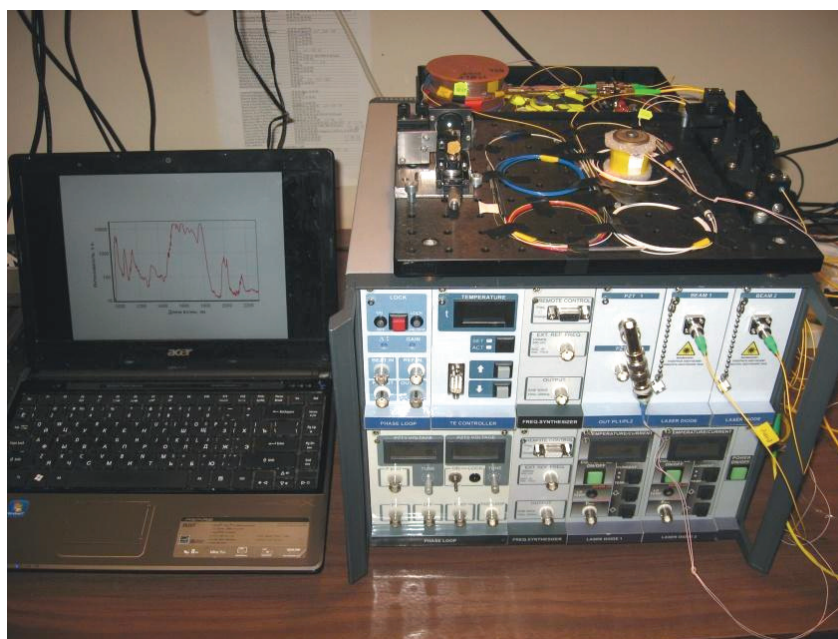


Рис. 19. Внешний вид мобильных фемтосекундных оптических часов.

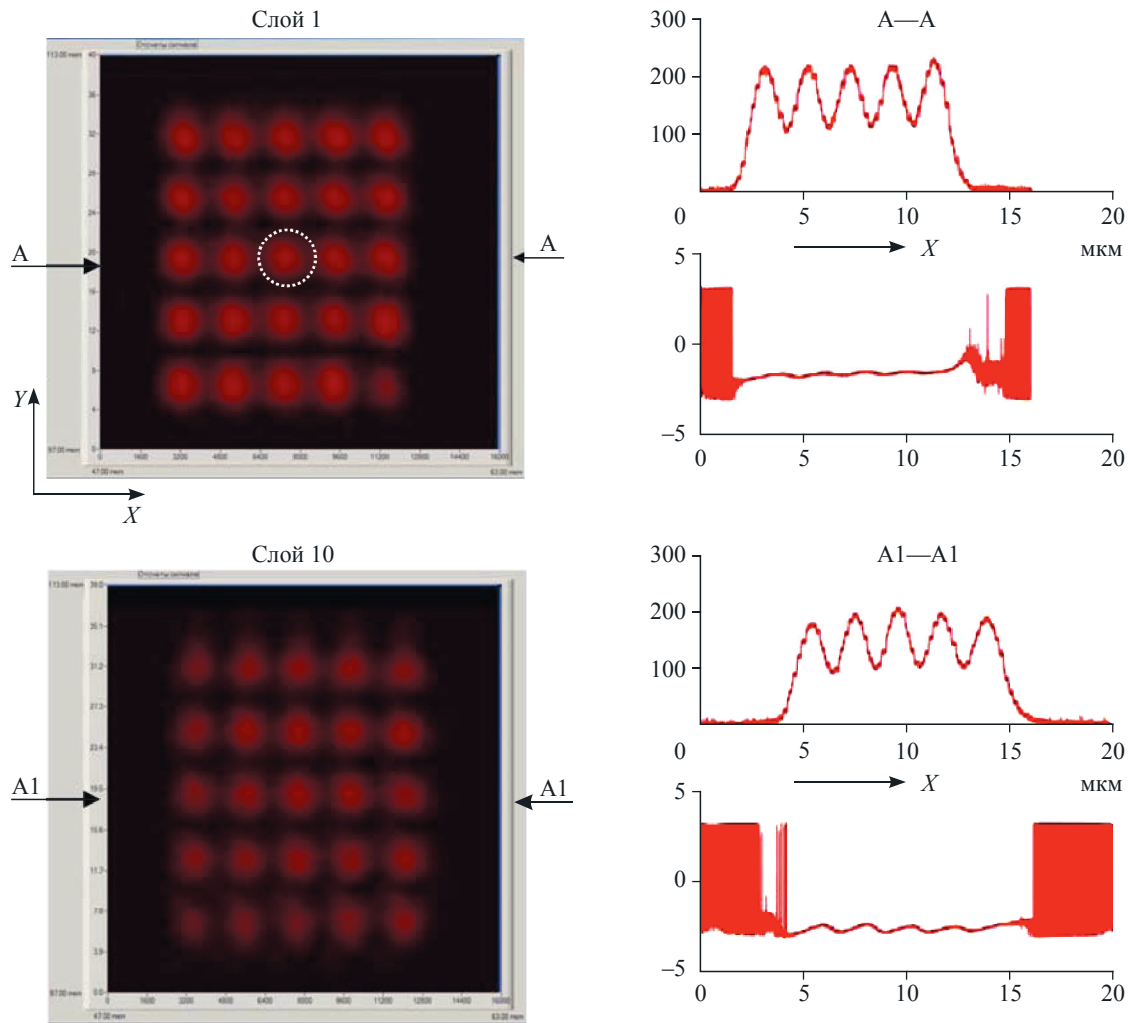


Рис. 20. Результаты гетеродинного детектирования матриц микрорешеток, записанных на разных глубинах. *a* — томограммы сигнала детектирования слоя 1 ($z = 20$ мкм) и слоя 10 ($z = 110$ мкм); *b* — распределения амплитуд и фаз сигналов детектирования при сканировании вдоль направлений А—А и А1—А1.

Программа П.8.2. Фундаментальные проблемы взаимодействия излучения с веществом (координатор акад. А. М. Шалагин)

Учеными Института лазерной физики разработана мощная импульсно-периодическая лазерная система генератор—усилитель (рис. 21), на основе которой создана уникальная лазерно-плазменная установка для вневакуумного (в воздухе) синтеза функциональных покрытий на металлах и впервые экспериментально показана перспективность разработки ряда высокоэффективных лазерно-плазменных нанотехнологий.

Учеными Института автоматики и электротехники впервые в России получен бозе-эйнштейновский конденсат охлажденных атомов.

Конденсат содержит 10^5 — 10^6 атомов рубидия, находящихся в сверхтонком состоянии $F_g = 2$ основного электронного состояния. Рисунок 22 демонстрирует проявление конденсации при свободном падении облака атомов. Неконденсированные атомы (температура атомов 0,6 мК) разлетаются изотропно (левая колонка рисунка; снимки сделаны с интервалом 5 мс). Конденсированные атомы разлетаются анизотропно (правая колонка): кинетическая энергия атомов в аксиальном направлении ≤ 50 пК, энергия в радиальном направлении 30 нК.

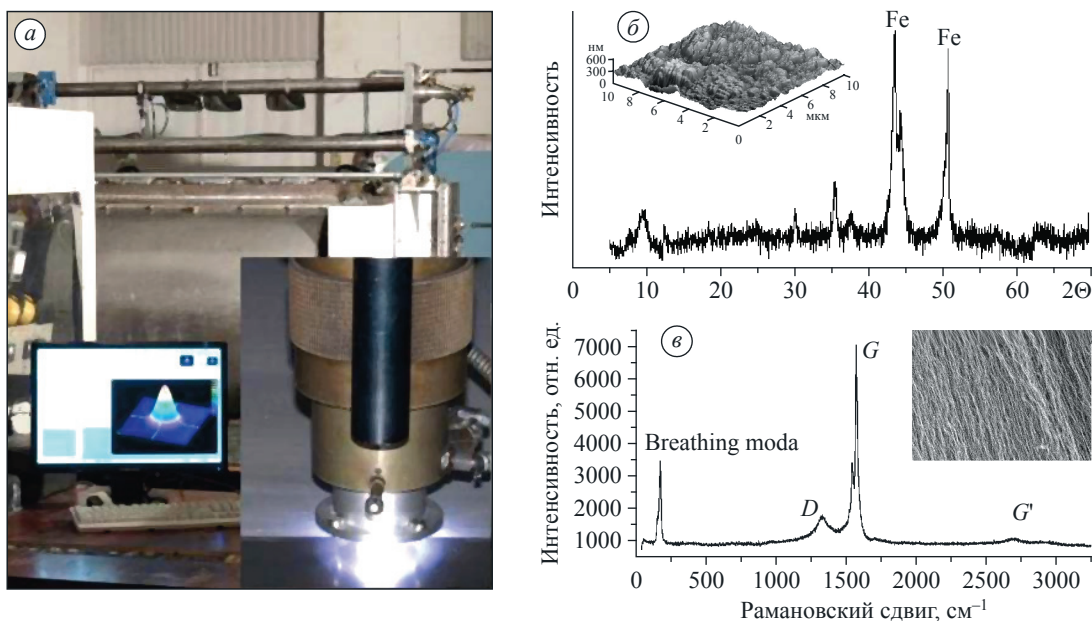


Рис. 21. Лазерно-плазменная установка на основе импульсно-периодической CO₂-лазерной системы генератор—усилитель.

a — внешний вид; *б* — рентгеновская дифрактограмма и АСМ-изображение нитрид-углеродного g-C₃N₄ покрытия; *в* — спектр комбинационного рассеяния и микрофотография массива однослойных углеродных нанотрубок.

Учеными Института физики полупроводников им. А. В. Ржанова на основе эффекта дипольной блокады предложен новый метод детерминированного возбуждения одиночных ридберговских атомов в узлах оптических решеток, первоначально загруженных случайным образом. Обнаружено, что при сильном взаимодействии между атомами освещение *N*-атомного ансамбля chirпованным (с быстрым изменением частоты) лазерным импульсом приводит к детерминированному возбуждению только одного атома с вероятностью, близкой к 1 (рис. 23). Предложенный метод может быть использован для загрузки одиночных атомов в узлы оптических решеток и создания квантовых регистров на нейтральных атомах.

Учеными Института автоматики и электрометрии совместно с учеными ИВС РАН (г. Санкт-Петербург) созданы новые теплоустойкие хромофорсодержащие полиимиды с высокими нелинейно-оптическими свойствами второго порядка для сверхбыстрых электрооптических преобразований. Получены рекордные значения нелинейно-оптического коэффициента $d_{33} = 25 \div 50$ пм/В в спектральном диапазоне от 800 до 1500 нм для ряда новых термически стабильных хромофорсодержащих полиимидов в виде тонких пленок (рис. 24). Установлено, что максимум значения d_{33} сдвиг-

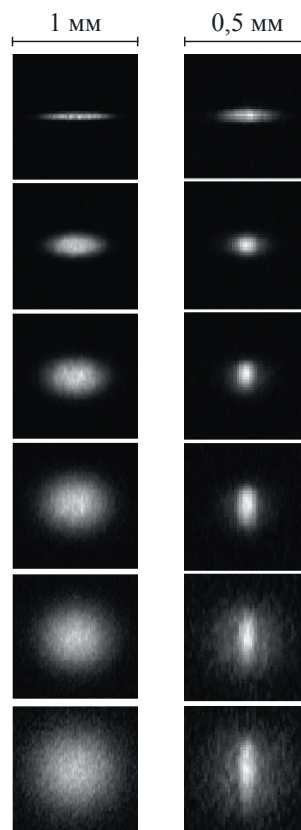


Рис. 22. Фото свободного падения облака неконденсированных и конденсированных атомов.

Поясн. см. в тексте.

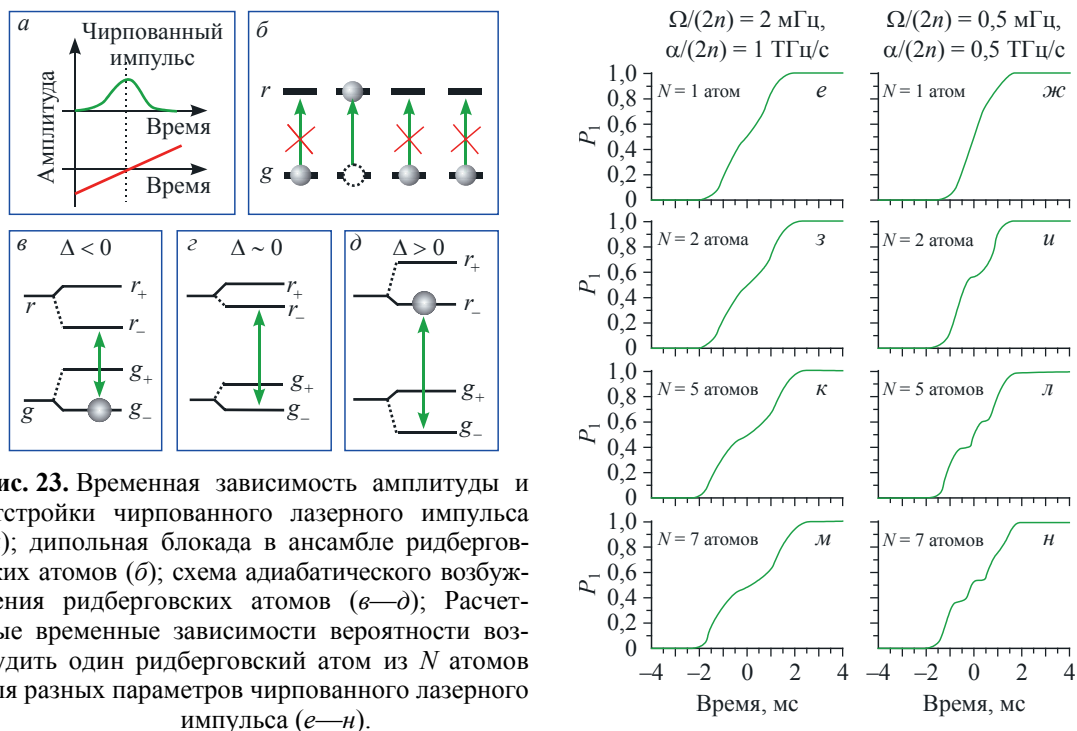


Рис. 23. Временная зависимость амплитуды и отстройки чирпованного лазерного импульса (а); дипольная блокада в ансамбле ридберговских атомов (б); схема адиабатического возбуждения ридберговских атомов (в—д); Расчетные временные зависимости вероятности возбудить один ридберговский атом из N атомов для разных параметров чирпованного лазерного импульса (е—н).

нут в длинноволновую область спектра относительно пика поглощения хромофора, что следует учитывать при создании электрооптических модуляторов на основе хромофорсодержащих полимеров.

В Институте автоматике и электротриетрии разработан и изготовлен полевой лазерный гравиметр «ГАБЛ-ПМ» с габаритами $45 \times 50 \times 93$ см и весом не более 60 кг (рис. 25). Управление всеми узлами прибора осуществляется с одного портативного компьютера типа

Notebook. Инструментальная среднеквадратическая погрешность измерения абсолютного значения ускорения силы тяжести гравиметром не превышает $\pm 5 \cdot 10^{-8}$ м/с² (5 мкГал). Разработана новая программа контроля лунно-солнечных приливов, позволившая повысить точность измерений. Комплексные испытания гравиметра в экспедиционных условиях осуществлялись в 2009—2010 гг. в Байкальской рифтовой зоне на сейсмостанции «Талая» и на гравиметрических пунктах Горного Алтая.

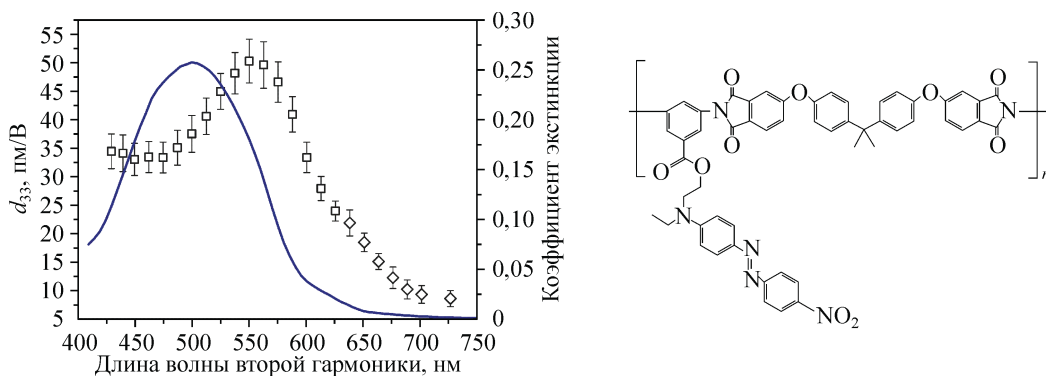


Рис. 24. Дисперсия квадратичного нелинейного коэффициента d_{33} (символы — экспериментальные данные на длине волны второй гармоники, сплошная линия — коэффициент экстинкции образца). На врезке показана структурная формула полиимида, содержащего ковалентно связанный хромофор DR-1.



Рис. 25. Гравиметр «ГАБЛ-ПМ».

Создание прибора с указанной погрешностью и улучшенными эксплуатационными характеристиками позволит в перспективе по-

высить эффективность гравиметрических и геодезических работ в стране.

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

Учеными Института оптики атмосферы им. В. Е. Зуева совместно с учеными ФИАН впервые экспериментально установлен и теоретически подтвержден порог по мощности, необходимой для прохождения филаментом ультракороткого лазерного импульса в воздухе через фокус оптической системы (рис. 26, а). Построена физическая модель филамента, которая в отличие от известных моделей объясняет феномен прохождения филамента через линейный фокус (рис. 26, б).

В этом же Институте впервые определены оптико-геометрические условия невидимости отражающих объектов на фоне неба в диапазоне 0,2—0,3 мкм (рис. 27). Также впервые обоснована возможность применения и реализован многофакторный физический подход к атмосферной коррекции спутниковых инфракрасных изображений, позволяющий в ряде случаях кратно повысить эффективность их тематической обработки по сравнению с разработанной в США (НАСА) технологией (табл. 1, рис. 28).

Учеными Института оптики атмосферы им. В. Е. Зуева первыми в мире выявлено наличие тонких (десятки метров) зеркально от-

ражающих горизонтальных слоев кристаллических частиц (рис. 29). Эти слои имеют высокий коэффициент обратного рассеяния и не вызывают деполяризации отраженного излучения. Возникновение аномальных зон на фоне хаотической ориентации частиц обусловлено однородными восходящими потоками, способствующими устойчивой левитации кристаллов и их ориентации в горизонтальной плоскости. Заметные отклонения матрицы рассеяния от диагональной формы свидетельствуют о наличии выраженной азимутальной ориентации частиц во всех зонах облака.

Учеными Института оптики атмосферы им. В. Е. Зуева совместно с учеными Университета г. Ридинг и Лабораторией им. Резерфорда (Великобритания) впервые в мире экспериментально показано, что континуальное поглощение водяного пара в окнах прозрачности атмосферы ближнего ИК-диапазона на порядок величины превышает значения, используемые в современных моделях дистанционного зондирования атмосферы и предсказаниях климата (рис. 30). Данный результат потребует переоценки отдельных методик, которые используют окна прозрачности для дистанцион-

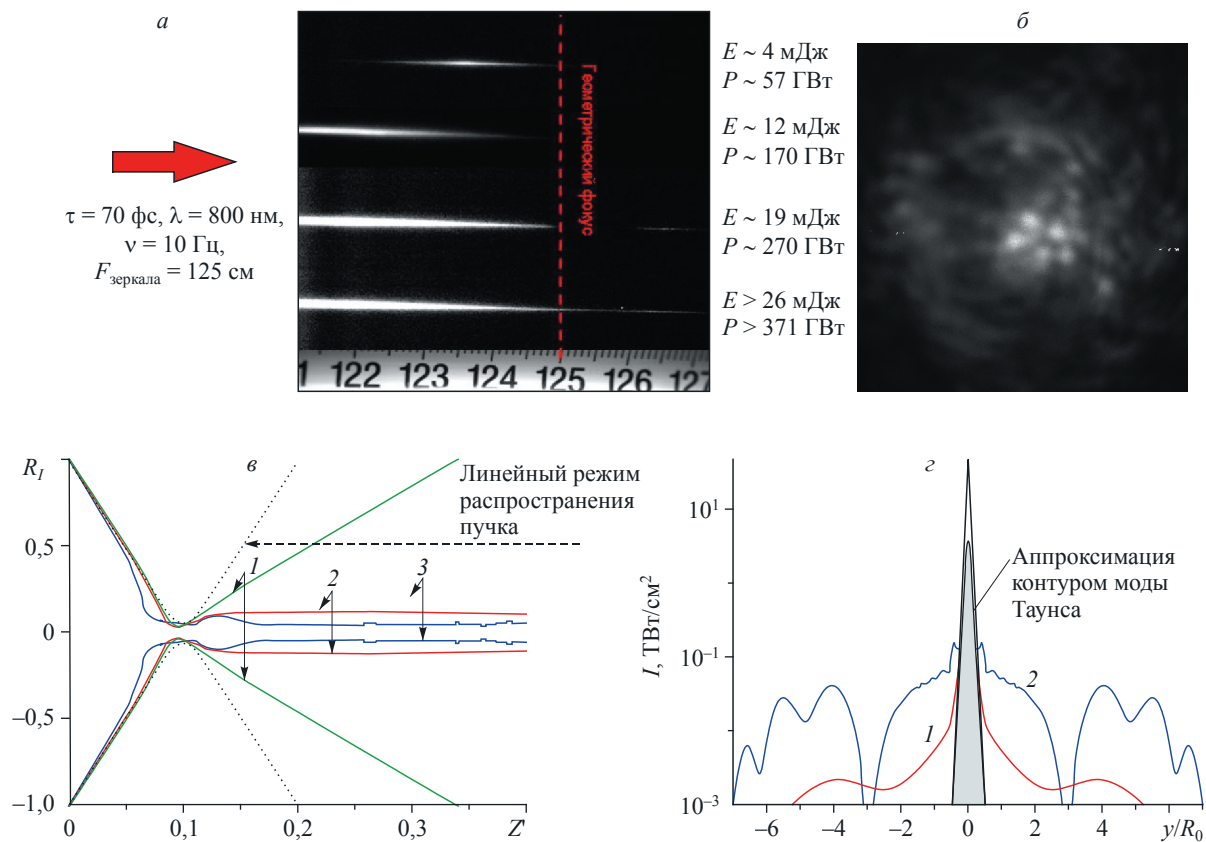


Рис. 26. Фотографии филаментов в воздухе при различной энергии в импульсе (а); фотография структуры пучка на экране на расстоянии 52 см от фокуса зеркала при $E > 26 \text{ мДж}$, $P > 371 \text{ ГВт}$ (б) и эволюция по трассе радиуса фокусированного модельного фемтосекундного пучка с числовой апертурой $NA = 1,3 \cdot 10^{-3}$ при его самофокусировке в воздухе (в); поперечный профиль интенсивности модельного пучка с $NA = 1,3 \cdot 10^{-3}$ при его самофокусировке в воздухе (г).

в — $P/P_{\text{кр}} = 2$ (1), $P/P_{\text{кр}} = 3$ (2), $P/P_{\text{кр}} = 12$ (3). г — $P/P_{\text{кр}} = 3$ (1), $P/P_{\text{кр}} = 12$ (2).

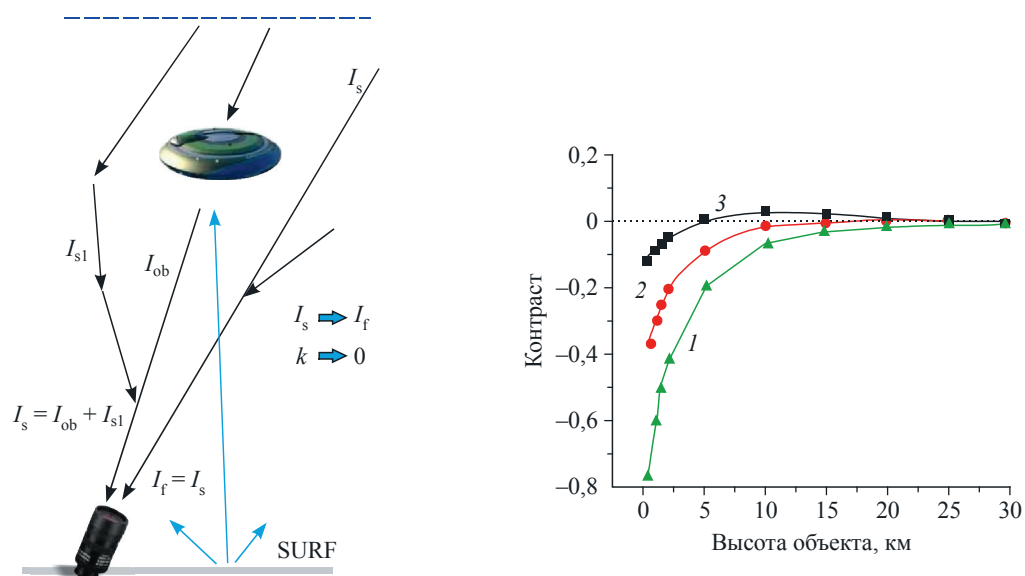


Рис. 27. Зависимость контраста объекта на фоне неба от высоты: $\lambda = 0,3 \text{ мкм}$, $\rho_{\text{SURF}} = 0,5$.

Кривые 1, 2 и 3 соответствуют коэффициенту отражения объекта $\rho_{\text{об}} = 0, 0,5$ и $1,0$.

Таблица 1

Эффективность обнаружения из космоса лесных пожаров конкурирующими методами тематической обработки спутниковых изображений

Алгоритм	Обнаружено всего (раннее обнаружение)
ИОА СО РАН	186 (77)
NASA, MOD14	98 (37)
NASA, MOD14/T	78 (28)
NASA, MOD14/A	74 (23)

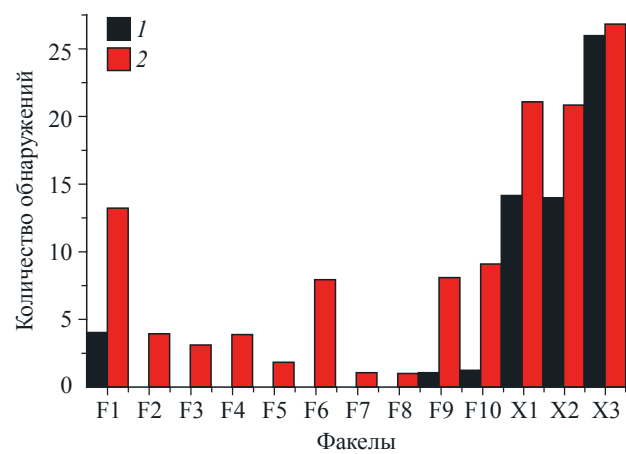


Рис. 28. Эффективность обнаружения из космоса стационарных малоразмерных высокоинтенсивных тепловых источников (факелов сжигания попутного газа на месторождениях Тюменской и Томской областей) конкурирующими методами тематической обработки спутниковых изображений (1 — MOD14 (NASA), 2 — RTM (ИОА)).

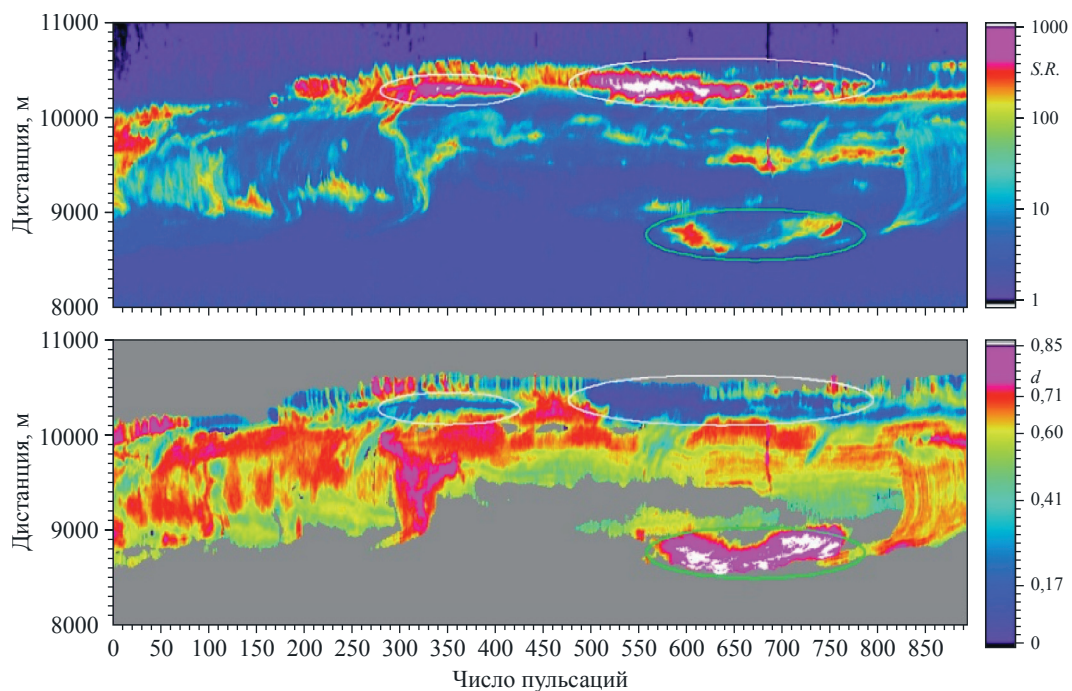


Рис. 29. Наблюдения кристаллических облаков при круговой поляризации лазерного излучения 19.05.2009 г.

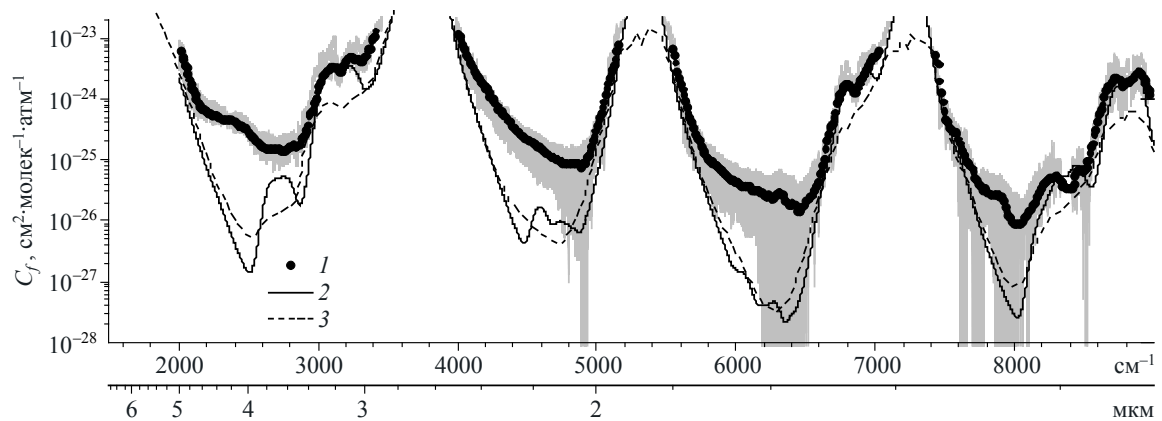


Рис. 30. Экспериментально восстановленный в работах Ptashnik et al. (1) спектр непрерывного поглощения H_2O —воздух в сравнении с полуэмпирической моделью MTCSD (2) и теоретической моделью Tipping & Ma (3) на основе крыла линии.

Затененная область показывает погрешность новых данных.

ного зондирования аэрозоля, и некоторых других метеопараметров, пренебрегая непрерывным поглощением. Полученные результаты позволяют также предположить, что доминирующий вклад в непрерывное поглощение

водяным паром в ближнем ИК-диапазоне обусловлен димерами воды, а не далекими крыльями линий мономера, как считается в настоящее время.