

Российская академия наук
Сибирское отделение

ОПТИКА АТМОСФЕРЫ И ОКЕАНА

Том 28, № 2 февраль, 2015

Научный журнал

Основан в январе 1988 года академиком В.Е. Зуевым

Выходит 12 раз в год

Главный редактор

доктор физ.-мат. наук Г.Г. Матвиенко

Заместители главного редактора

доктор физ.-мат. наук Б.Д. Белан,

доктор физ.-мат. наук Ю.Н. Пономарев

Ответственный секретарь

доктор физ.-мат. наук В.А. Погодаев

Редакционная коллегия

Багаев С.Н., академик РАН, Институт лазерной физики (ИЛФ) СО РАН, г. Новосибирск, Россия;

Банах В.А., д.ф.-м.н., Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева (ИОА) СО РАН, г. Томск, Россия;

Белов В.В., д.ф.-м.н., ИОА СО РАН, г. Томск, Россия;

Букин О.А., д.ф.-м.н., Дальневосточная морская академия им. адмирала Г.И. Невельского, г. Владивосток, Россия;

Голицын Г.С., академик РАН, Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова (ИФА) РАН, г. Москва, Россия;

Еланский Н.Ф., чл.-кор. РАН, ИФА РАН, г. Москва, Россия;

Землянов А.А., д.ф.-м.н., ИОА СО РАН, г. Томск, Россия;

Кандидов В.П., д.ф.-м.н., Международный лазерный центр МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия;

Кулмала М. (Kulmala M.), проф., руководитель Отдела атмосферных наук кафедры физики, Университет г. Хельсинки, Финляндия;

Лукин В.П., д.ф.-м.н., ИОА СО РАН, г. Томск, Россия;

Михайлов Г.А., чл.-кор. РАН, Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, г. Новосибирск, Россия;

Павлов В.Е., д.ф.-м.н., Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул, Россия;

Панченко М.В., д.ф.-м.н., ИОА СО РАН, г. Томск, Россия;

Ражев А.М., д.ф.-м.н., ИЛФ СО РАН, г. Новосибирск, Россия;

Тарасенко В.Ф., д.ф.-м.н., Институт сильноточной электроники СО РАН, г. Томск, Россия;

Шабанов В.Ф., академик РАН, Красноярский научный центр СО РАН, г. Красноярск, Россия;

Шайн К. (Shine K.P.), член Английской академии наук, королевский профессор метеорологических и климатических наук, Департамент метеорологии, Университет г. Рединга, Великобритания;

Циас Ф. (Ciais P.), проф., научный сотрудник Лаборатории климатических наук и окружающей среды совместного научно-исследовательского подразделения Комиссариата атомной энергии и Национального центра научных исследований (НЦНИ) Франции, г. Жиф-сюр-Иветт, Франция

Совет редколлегии

Борисов Ю.А., к.ф.-м.н., Центральная аэрологическая обсерватория, г. Долгопрудный Московской обл., Россия;

Заворуев В.В., д.б.н., Институт вычислительного моделирования СО РАН, г. Красноярск, Россия;

Ивлев Л.С., д.ф.-м.н., Научно-исследовательский институт физики им. В.А. Фока при СПбГУ, г. Санкт-Петербург, Россия;

Игнатьев А.Б., д.т.н., ГСКБ концерна ПВО «Алмаз-Антей» им. академика А.А. Расплетина, г. Москва, Россия;

Кабанов М.В., чл.-кор. РАН, Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, г. Томск, Россия;

Михалев А.В., д.ф.-м.н., Институт солнечно-земной физики СО РАН, г. Иркутск, Россия;

Якубов В.П., д.ф.-м.н., Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия

Зав. редакцией С.Б. Пономарева

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН

Россия, 634055, г. Томск, пл. Академика Зуева, 1

Адрес редакции: 634055, г. Томск, пл. Академика Зуева, 1

Тел. (382-2) 49-24-31, 49-19-28; факс (382-2) 49-20-86

E-mail: psb@iao.ru

http://www.iao.ru

© Сибирское отделение РАН, 2015

© Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, 2015

СОДЕРЖАНИЕ

Том 28, № 2 (313), с. 103–196

февраль, 2015 г.

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛН

Мануйлович Е.С., Астапенко В.А., Головинский П.А. Распространение ультракоротких лазерных импульсов в сухом и влажном воздухе.....	105
Банах В.А., Разенков И.А. Аэрозольный лидар для исследования усиления обратного атмосферного рассеяния. II. Конструкция и эксперимент.....	113
Носов В.В., Лукин В.П., Носов Е.В., Торгаев А.В. Моделирование когерентных структур (топологических солитонов) в закрытых помещениях путем численного решения уравнений гидродинамики	120

ОПТИКА КЛАСТЕРОВ, АЭРОЗОЛЕЙ И ГИДРОЗОЛЕЙ

Вилисова Е.А., Черняк В.Г. Аккомодационная зависимость термофореза в газах в кнудсеновском режиме.....	134
Жилкин С.В., Харламов Г.В. Исследование диффузии леннард-джонсовских частиц в условиях фазового перехода методом молекулярной динамики	138
Абдуллаев С.Ф., Маслов В.А., Назаров Б.И., Мадвалиев У., Давлатшоев Т. Содержание элементов в пробах почв и пылевого аэрозоля в Таджикистане.....	143

ОБРАТНЫЕ ЗАДАЧИ ОПТИКИ АТМОСФЕРЫ И ОКЕАНА

Поляков А.В., Тимофеев Ю.М., Поберовский А.В., Виролайнен Я.А. Учет высоких приземных концентраций атмосферных паров соляной кислоты при наземных спектроскопических измерениях	153
Десятков Б.М., Лаптева Н.А., Шабанов А.Н. Математический метод поиска в атмосфере неизвестных точечных источников газов и аэрозолей	159

ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ АТМОСФЕРЫ, ГИДРОСФЕРЫ И ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ

Лукин В.П., Ботыгина Н.Н., Гладких В.А., Емалеев О.Н., Коняев П.А., Одинцов С.Л., Торгаев А.В. Сравнительные измерения уровня турбулентности атмосферы с помощью оптических и акустических измерителей	163
Запечалов А.С., Лебедев Н.Е., Показеев К.В. Влияние топографической структуры морской поверхности на погрешность определения приводного ветра спутниковыми оптическими сканерами	167
Дембелов М.Г., Башкуев Ю.Б., Лухнев А.В., Лухнева О.Ф., Саньков В.А. Диагностика содержания атмосферного водяного пара по данным GPS-измерений	172

АТМОСФЕРНАЯ РАДИАЦИЯ, ОПТИЧЕСКАЯ ПОГОДА И КЛИМАТ

Лапченко В.А., Звягинцев А.М. Малые газовые составляющие атмосферы в Карадагском природном заповеднике в Крыму	178
Тартаковский В.А. Синхронный анализ рядов чисел Вольфа и температуры с метеостанций Северного полушария Земли	182

АДАПТИВНАЯ И ИНТЕГРАЛЬНАЯ ОПТИКА

Рукоусев А.Л., Кудряшов А.В., Лылова А.Н., Самаркин В.В., Шелдакова Ю.В. Адаптивная оптическая система для коррекции волнового фронта в реальном времени	189
Информация	196

CONTENTS

Vol. 28, No. 2 (313), p. 103–196

February 2015

Optical wave propagation

Manuylovich E.S., Astapenko V.A., Golovinskii P.A. Propagation of ultrashort laser pulses in humid and dry air	105
Banakh V.A., Razenkov I.A. Aerosol lidar for study of the backscatter amplification in the atmosphere. Part II. Construction and experiment	113
Nosov V.V., Lukin V.P., Nosov E.V., Torgaev A.V. Simulation of coherent structures (topological solitons) inside closed rooms by solving numerically hydrodynamic equations	120

Optics of clusters, aerosols, and hydrosols

Vilisova E.A., Chernyak V.G. Accommodation dependence of thermophoresis in gases under Knudsen mode	134
Zhilkin S.V., Kharlamov G.V. Investigation of the diffusion of Lennard-Jones particles in phase transition conditions by the molecular dynamics method	138
Abdullaev S.F., Maslov V.A., Nazarov B.I., Madvaliev U., Davlatshoev T. Content of elements in soil and dust aerosols in Tajikistan	143

Inverse problems of atmospheric and ocean optics

Polyakov A.V., Timofeyev Yu.M., Poberovskii A.V., Virolainen Ya.A. The consideration for high near-surface concentrations of hydrochloric acid vapor in the atmosphere through ground-based spectroscopic measurements	153
Desyatkov B.M., Lapteva N.A., Shabanov A.N. A mathematical method of search for unknown point sources of gases and aerosols in the atmosphere	159

Remote sensing of atmosphere, hydrosphere, and underlying surface

Lukin V.P., Botygina N.N., Gladkikh V.A., Emaleev O.N., Konyaev P.A., Odintsov S.L., Torgaev A.V. Comparative measurements of atmospheric turbulence level with optical and acoustic meters	163
Zapevalov A.S., Lebedev N.E., Pokazeev K.V. Influence of sea surface topography on the error of wind speed measurement with satellite optical scanners	167
Dembelov M.G., Bashkuev Yu.B., Loukhnev A.V., Loukhneva O.F., San'kov V.A. Diagnostics of the content of atmospheric water vapor according to data of GPS measurements	172

Atmospheric radiation, optical weather, and climate

Lapchenko V.A., Zvyagintsev A.M. Minor atmospheric gases in the Karadag nature reserve, the Crimea	178
Tartakovsky V.A. Synchronous analysis of the Wolf numbers and temperature series from weather station in the Northern Hemisphere of the Earth	182

Adaptive and integral optics

Rukosuev A.L., Kudryashov A.V., Lylova A.N., Samarkin V.V., Sheldakova Yu.V. Adaptive optical system for real-time wavefront correction	189
Information	196

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛН

УДК 551.510.61

Распространение ультракоротких лазерных импульсов в сухом и влажном воздухе

Е.С. Мануйлович¹, В.А. Астапенко¹, П.А. Головинский^{1,2*}

¹Московский физико-технический институт (государственный университет)
141700, Московская обл., г. Долгопрудный, Институтский пер., 9

²Воронежский государственный архитектурно-строительный университет
394030, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84

Поступила в редакцию 8.08.2014 г.

Рассмотрено распространение ультракороткого лазерного импульса в атмосфере с учетом дифракции и дисперсионных свойств атмосферы. Представлены результаты численного моделирования распространения импульсов длительностью от единиц до десятков фемтосекунд в воздухе при комнатной температуре. Промонстрировано быстрое распыление таких импульсов при скорректированной гауссовой форме временной огибающей. Рассчитано распространение импульса с отрицательным начальным chirпом в сухом и влажном воздухе, позволяющим частично скомпенсировать эффекты дисперсии и дифракции. Получена зависимость расстояния, на котором длительность импульса становится минимальной, от влажности воздуха.

Ключевые слова: ультракороткий импульс, дисперсия воздуха, дифракция, распространение, влажность, chirp; ultrashort pulse, air dispersion, diffraction, propagation, humidity, chirp.

Введение

Распространение лазерного излучения в атмосфере представляет значительный интерес как с точки зрения общих закономерностей этого явления, так и в связи с многообразными практическими приложениями [1]. Значительная часть усилий в этой области была направлена на исследование распространения лазерных импульсов большой интенсивности, для которых важную роль играют оптические нелинейности [2, 3]. Использование распространяющихся импульсов значимо для исследования характеристик атмосферы, включая измерение времен релаксации и декогеренции [4, 5]. Существенное влияние на распространение лазерных импульсов в атмосфере оказывает ее турбулентность [6–8]. Вносимые ею искажения могут быть частично скомпенсированы методами адаптивной оптики [9–11].

Понимание характера распространения ультракоротких импульсов (УКИ) малой интенсивности в атмосфере в рамках линейной электродинамики необходимо для метеорологических и геодезических измерений, а также для организации беспроводной оптической передачи данных [12]. Такие измерения, а также связанные с ними теоретические расчеты эффектов распространения требуют точного учета дисперсии воздуха, так как при регистрации сигнала

необходимо уметь отделять эффекты искажения импульса зондирующего излучения в атмосфере от воздействия самой измеряемой величины. При организации воздушной оптической передачи данных влияние дисперсионного распыления импульса накладывает ограничения на минимальную длительность импульса и, следовательно, пропускную способность канала, а поглощение в атмосфере — на максимальную дистанцию передачи сигнала.

Реальные лазерные импульсы имеют конечный поперечный размер, что подразумевает наличие дифракционного пространственного распыления длинных импульсов, а для коротких импульсов — формирование сложной пространственно-временной динамики [13–16]. Однако существенные изменения пространственно-временной структуры импульса в процессе его линейного распространения в вакууме обнаружены теоретически и экспериментально [17, 18] только для малоцикловых импульсов и апертур, сопоставимых с продольными размерами импульсов или вблизи каустик.

Дисперсионное распыление импульсов в атмосфере было рассмотрено в работе [19]. В ней моделировалось распространение импульсов в линейно-диспергирующей среде. Для расчетов использовались импульсы в гауссовой временной форме и в форме гиперболического секанса. Было установлено, что при начальных длительностях импульсов порядка нескольких пикосекунд максимальное расстояние передачи сигнала составляет 1–2 км, а длительность импульса в результате дисперсионного распыления увеличивается примерно в 2 раза. Зависимость изменения

* Егор Сергеевич Мануйлович (manues655@gmail.com); Валерий Александрович Астапенко (astval@mail.ru); Павел Абрамович Головинский (golovinski@bk.ru).