

## ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

### ЛЕКЦИИ

#### ЛИДАРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДИСТАНЦИОННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ АТМОСФЕРЫ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ С ВЕЩЕСТВОМ

**С.М. Бобровников**

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, Томск, Россия  
bsm@iao.ru

#### LIDAR TECHNOLOGIES OF REMOTE MEASURING THE ATMOSPHERE PARAMETERS USING SPECTROSCOPIC EFFECTS OF INTERACTION BETWEEN RADIATION AND MATTER

**S.M. Bobrovnikov**

V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS, Tomsk, Russia

Излагаются принципы лазерного зондирования атмосферы с использованием спектроскопических эффектов взаимодействия излучения с веществом. Подробно рассматриваются методы дистанционного определения температуры и влажности атмосферы с использованием эффекта спонтанного комбинационного рассеяния (СКР) на молекулах атмосферного азота, кислорода и водяного пара. Рассматривается метод дистанционного газоанализа на основе эффекта СКР с использованием возбуждающего излучения «солнечно-слепой» УФ-области спектра. Рассматривается спектроскопический метод разделения лидарных откликов аэрозольного и молекулярного рассеяния для корректного решения лидарного уравнения при определении оптических характеристик атмосферы. Излагается лидарный метод обнаружения сверхнизких концентраций азотосодержащих веществ в атмосфере на основе использования эффектов лазерной фрагментации — лазерно-индуцированной флуоресценции сложных молекул органических соединений. Приводятся примеры технической реализации лидарных методов и результаты их использования при зондировании атмосферы и проведении калибровочных измерений.

#### НАЦИОНАЛЬНЫЙ ПРОЕКТ КРУПНОГО СОЛНЕЧНОГО ТЕЛЕСКОПА: ЗАДАЧИ И ПЕРСПЕКТИВЫ

**Д.Ю. Колобов, В.М. Григорьев, М.Л. Демидов, С.А. Чупраков,  
В.И. Скоморовский, П.Г. Ковадло, В.А. Пуляев**

Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия  
kolobov@iszf.irk.ru

#### NATIONAL PROJECT OF THE LARGE SOLAR TELESCOPE: GOALS END PROSPECTS

**D.Yu. Kolobov, V.M. Grigoryev, M.L. Demidov, S.A. Chuprakov,  
V.I. Skomorovsky, P.G. Kovadlo, V.A. Pulyaev**

Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS, Irkutsk, Russia

Физика Солнца — интенсивно развивающаяся область знаний, где прогресс определяется успехами в создании современных инструментов, способных решать комплекс задач по наблюдению солнечной атмосферы. Актуальны проблемы природы магнитных полей и цикла солнечной активности, а также изучение магнитной нестабильности и маг-

нитной спиральности, которые во многом определяют феномены солнечных вспышек и корональных выбросов масс. Экспериментальная задача состоит в измерении сильных и сравнительно слабых магнитных полей, а также движений плазмы как в фотосфере, так и в верхних слоях солнечной атмосферы — хромосфере и короне. Для понимания всей совокупности явлений необходимы многоволновые наблюдения, которые бы разрешали по высоте солнечную атмосферу и позволили изучать ее трехмерную структуру. Необходимо измерять магнитные поля и наблюдать связанные физические процессы на тех масштабах, на которых они происходят в действительности (~70 км). Решение этих задач возможно с помощью крупного телескопа с размером апертуры 3 м и более, снабженного адаптивной оптической системой, спектрографами и фильтрографами для обеспечения высокого пространственного, временного и спектрального разрешения.

Solar physics is intensively developing science the progress of which is determined by success in new instrument making. Relevant problems of the solar physics are origin of the solar magnetic fields and solar activity cycle, magnetic instability and helicity. To observe complex phenomena in the solar atmosphere one requires multiwavelength observations which allow us to achieve height resolution of the solar atmosphere and to study its 3d structure. One of the main goals is to observe physical processes at the fundamental scale which is about 70 km for the solar surface. The solution of these experimental tasks is possible with new 3m solar telescope equipped with adaptive optical system, spectrographs and filtrographs which provide high spatial, temporal and spectral resolution.

## **СОЛНЕЧНЫЕ РАДИОТЕЛЕСКОПЫ**

**С.В. Лесовой**

Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия  
svlesovoi@gmail.com

## **SOLAR RADIO TELESCOPES**

**S.V. Lesovoi**

Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS, Irkutsk, Russia

В лекции излагается обзорная информация о солнечном радиоизлучении и радиотелескопах, обсуждается ряд актуальных проблем в этой области науки. Будут рассмотрены следующие вопросы:

1. Радиоизлучение Солнца: тепловые и нетепловые механизмы радиоизлучения.
2. Солнечные радиометры и спектрополяриметры:
  - флуктуационная чувствительность радиометра, динамические спектры, оценка скорости дрейфа электронов во время всплесков типа III и оценка скорости выброса корональной массы по динамическим спектрам;
  - моделирование отклика радиометра с учетом диаграммы направленности, полосы фильтра, автокоррелятора и интегратора;
  - калибровка радиометров.
3. Солнечные радиоинтерферометры:
  - двухэлементный корреляционный радиоинтерферометр, теорема ван Циттерта–Цернике, апертурный синтез;
  - связь полосы пропускания приемника и отклика на различные геометрические задержки;
  - влияние ошибок в определении базы радиоинтерферометра на компенсацию геометрической задержки и на остановку интерференционных лепестков;
  - ошибки в измерении кросскорреляции, вызванные квантованием выходных сигналов;

- требования к точности компенсации геометрической задержки для солнечных радиоинтерферометров;
- влияние ошибок в сопровождении на результат кросскорреляции;
- методы калибровок солнечных радиоинтерферометров: избыточность антенной решетки, самокалибровка.

## **ЛИДАРНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ЗОНДИРОВАНИЯ СРЕДНЕЙ АТМОСФЕРЫ И НИЖНЕЙ ТЕРМОСФЕРЫ (10–100 км)**

**Г.Г. Матвиенко, В.Н. Маричев**

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, Томск, Россия  
marichev@iao.ru

## **LIDAR TECHNOLOGY OF SOUNDING THE MIDDLE ATMOSPHERE AND LOW THERMOSPHERE (10–100 km)**

**G.G. Matvienko, V.N. Marichev**

V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS, Tomsk, Russia

Вопросу глобального мониторинга атмосферы в разных по высотному расположению слоях — тропосфера, стратосфера, мезосфера и термосфера — в последнее время уделяется все большее внимание, поскольку это связано с проблемой изменения климата вследствие природных и антропогенных процессов. Исследования в данном направлении проводятся в рамках программ мирового масштаба, например, «U.S. Global Change Program» и ее важной составляющей «Coupling Energetic and Dynamics of Atmospheric Regions».

Ключевая роль в реализации этих программ отводится применению лидаров как современных приборов, позволяющих на новом качественном и количественном уровне исследовать состояние и состав атмосферы в широком интервале высот с высоким временным и пространственным разрешением. Реализация в лидарах различных методов зондирования позволяет получать широкий набор профильных характеристик физических величин и составляющих атмосферы, таких как плотность, температура, скорость ветра, аэрозоль, концентрация газов. Комплексная информация об указанных величинах позволяет получать знания о геофизических и космофизических процессах и явлениях, протекающих в толще атмосферы. К ним относятся влияние солнечной активности, вулканогенные и сейсмические процессы, гравитационные и планетарные волны, стратосферные потепления, полярные и серебристые облака.

Необходимо отметить, что освоение высоких слоев атмосферы, включая мезосферу и термосферу, которые остаются слабоизученными, невозможно без применения лидаров с крупногабаритной оптикой и мощными лазерами. Последние компоненты с максимально возможными параметрами предполагается реализовать в мезосферно-стратосферном (МС) лидаре, который будет создаваться ИСЗФ на территории Иркутской области в рамках Национального гелиогеофизического комплекса (2 этап). Применение МС-лидара позволит получить новые знания о труднодоступных слоях атмосферы и их связи с выше- и нижерасположенными слоями, а также с упоминаемыми выше процессами и явлениями.

Предлагается ознакомить слушателей с планируемыми к использованию в МС-лидаре физическими принципами зондирования атмосферы, с предполагаемой схемой построения лидара и отдельных его узлов на основе опыта создания современных передовых лидарных систем, а также с возможностями измерений параметров атмосферы.

Лекция включает три раздела. В первом рассматриваются физические основы лидарных методов зондирования атмосферы, таких как упругое молекулярное и аэрозольное рассеяние света (рассеяние Рэлея и Ми), метод комбинационного рассеяния света (рассеяние Рамана) и метод резонансного рассеяния света. С помощью этих методов производится

измерения аэрозольной стратификации атмосферы, профильных характеристик температуры и скорости ветра.

Во втором разделе представлены уникальные лидарные комплексы, на которых выполняется зондирование средней и верхней нейтральной атмосферы. В первую очередь это лидарный комплекс обсерватории ALOMAR, на котором ведутся комплексные исследования средней и нижней атмосферы группой ученых из Германии, Франции, Великобритании и Норвегии. Комплекс включает два приемных зеркала диаметром 1.8 м с возможностью дневных измерений. Также рассказывается о крупногабаритных лидарах Иллинойского университета с приемными зеркалами диаметрами 3 и 4 м, расположенных в обсерваториях Starfire Optical Range и Maui Space Surveillance Site.

В третьем разделе приведены результаты измерений аэрозоля, температуры, плотности, скорости и направления ветра в стратосфере, мезосфере и нижней термосфере, полученные на зарубежных лидарах и лидаре ИОА СО РАН.

## МАГНИТОГИДРОДИНАМИЧЕСКАЯ СЕЙСМОЛОГИЯ

**В.М. Накаряков**

Ворвикский университет, Ковентри, Великобритания  
V.Nakariakov@warwick.ac.uk

## MAGNETOHYDRODYNAMIC SEISMOLOGY

**V.M. Nakariakov**

University of Warwick, Coventry, United Kingdom

Современные наблюдательные инструменты обеспечивают надежную регистрацию волновых и колебательных процессов в плазменных структурах короны Солнца с периодами от долей секунды до нескольких десятков часов и характерными скоростями от нескольких десятков до нескольких тысяч километров в секунду. Теоретическое моделирование этих процессов позволяет интерпретировать их как магнитогиродинамические (МГД) волны. В частности, различаются изгибные, сосисочные и продольные волны. Свойства этих волн определяются параметрами плазменных волноводов, в которых они наблюдаются. Данная зависимость создает базис для диагностики плазмы короны Солнца с помощью МГД-волн. Применение метода МГД-сейсмологии является одной из официальных научных целей инструмента Atmospheric Imaging Assembly на космическом аппарате Solar Dynamics Observatory. Метод позволяет оценивать величину магнитного поля в активных областях короны, шкалу высот, транспортные коэффициенты, функцию нагрева короны, характерные параметры мелкомасштабной филаментации плазмы вдоль магнитного поля и т. п. Данные параметры принципиально важны для понимания фундаментальных физических процессов в короне и необходимы для предсказания космической погоды, но их весьма сложно и во многих ситуациях невозможно измерить традиционными методами. Наблюдения квазипериодических пульсаций во вспышках на других звездах и их интерпретация как МГД-колебаний и автоколебаний открывают интересные перспективы для применения метода МГД-сейсмологии к анализу корон звезд.

Wave and oscillatory processes are confidently detected in various plasma structures of the corona of the Sun, with modern observational tools. Periods of these waves range from a fraction of a second to several tens of hours, and the typical speeds are from tens to thousands of km/s. Advanced theoretical modelling allows us to identify these processes as magnetohydrodynamic (MHD) waves. In particular, one can distinguish between kink, sausage and longitudinal modes. Observed properties of these waves are determined by parameters of the plasma waveguides supporting them, creating the basis for remote, MHD-wave-based diagnostics of coronal plasmas. The method of MHD seismology is one of the official aims of the Atmospheric Imaging

Assembly on the Solar Dynamics Observatory spacecraft. This diagnostic technique allows us to estimate the magnetic field in coronal active regions, density scale height, transport coefficients, coronal heating function, sub-resolution spatial scale of field-aligned filamentation, etc. These parameters are important for understanding basic physical processes operating in the corona, and are necessary for space weather forecasting, but it is difficult or impossible to estimate them by traditional methods. Observations of quasi-periodic pulsations in stellar flares, and their association with MHD oscillations and self-oscillations opens up an interesting perspectives for MHD seismology of stellar coronae.