

ЛЕКЦИИ

ЭФФЕКТЫ В ИОНОСФЕРЕ ЗА ПЕРИОДЫ МАГНИТОСФЕРНЫХ БУРЬ И СУББУРЬ**Д.В. Благовещенский**Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения (ГУАП)
dvv@ppp.delfa.net dvv@aanet.ru**IONOSPHERIC EFFECTS DUE TO MAGNETOSPHERIC STORMS AND SUBSTORMS****D.V. Blagoveshchensky**

Физика околоземного пространства, особенно с точки зрения космической погоды, в настоящее время является областью значительного внимания ученых-исследователей и относится к числу важных, актуальных направлений в науке. Представления о космической погоде, т.е. о динамических, сильно меняющихся процессах в околоземной среде, включают условия на Солнце, в межпланетном пространстве, в системе магнитосфера–ионосфера–атмосфера Земли. Изменения космической погоды влияют на качество функционирования как космических аппаратов, так и систем связи, ориентации и навигации, энергетических линий и пр. Неблагоприятные изменения способны отрицательным образом сказаться на надежности данных систем, а в иных случаях полностью вывести их из строя. Поэтому чрезвычайно важной задачей является предсказание и смягчение эффектов космической погоды.

Настоящее сообщение посвящено вопросам, связанным с решением проблемы влияния магнитосферных возмущений (магнитных бурь, суббурь) на ионосферу и распространение радиоволн. Они включают описание и физическое объяснение новых экспериментальных данных в поведении ионосферы и характере распространения ВЧ-радиоволн. Эти исследования направлены на поиск физических предвестников бурь или суббурь и преследуют цель разработки способов и алгоритмов прогнозирования начала развития активной фазы бури или суббури с заблаговременностью в несколько часов.

В основу анализа положены уникальные экспериментальные данные и теоретические исследования вариаций ионосферы и распространения радиоволн в периоды, предшествующие началу активной фазы бури или суббури. Эти подходы являются оригинальными и нетрадиционными.

В сообщении освещаются систематизация и анализ существующих экспериментальных данных и теоретических представлений; схема развития предвещающих возмущение (бурю, суббурю) явлений и описание физических механизмов, подтверждающих реальность предложенной схемы в параметрах ионосферы и характеристиках радиоволн; принципы создания функциональной модели ионосферно-магнитосферной плазмы с учетом вариаций, характерных для различных фаз возмущения.

С точки зрения прикладных задач предлагается схема построения алгоритма прогнозирования начала магнитной бури или суббури на основе анализа предвозмущенного поведения ионосферы и параметров радиоволн. Формулируются возможные рекомендации для организации КВ-радиосвязи перед возмущением, во время и после него.

В исследованиях использовалось следующее оборудование:

- многоканальный доплеровский КВ-комплекс, расположенный недалеко от Санкт-Петербурга, который позволяет проводить измерения одновременно на четырех диагностических радиотрассах различной длины (от 1000 до 10000 км). Передатчики станций всего мира могут быть использованы в качестве диагностических;
- сеть станций наклонного зондирования ионосферы и малый радар «БИЗОН» в режиме наклонного обр

Данные INTERNET: магнитометров цепочки IMAGE и ионозондов Швеции и Финляндии – Кируна, Люксле, Упсала и Соданкюля.

From the point of view of the space weather, physics of the terrestrial environment as a very important and topical part of the science is at present the area of the close attention of many scientists. Dynamical and time-variable space weather includes the conditions on the Sun, in the interplanetary space as well as in the magnetosphere-ionosphere-atmosphere system of the Earth. Variations of space weather impact on quality of operation both the cosmic apparatus and systems of communications, orientation and navigation, energetic lines and so on. Unfavorable variations capable by negative ways to influence on reliability of mentioned systems and sometimes to put out of action them completely. Therefore main problem here is forecasting and moderating the space weather effects.

This presentation is dedicated to some questions associated with solving the problem of the magnetospheric disturbance (magnetic storms, substorms) impact on the ionosphere and radio wave propagation. They include description and physical explanation of the new experimental data concerning the ionosphere behavior and character of the HF radio wave propagation. These investigations are directed on finding the physical storm/substorm fore-runners and pursue the goals to elaborate the methods and algorithms of forecasting the expansion phase onset of a storm or substorm some hours in advance.

Unique experimental data and theoretical investigations of the ionosphere variations and radio wave propagation during periods before the expansion phase onset of a storm/substorm are laid at the analysis basis. These approaches are original and not traditional.

This presentation contain the following: systematization and analysis of existent experimental data and theoretical ideas; scheme of phenomena development before the disturbance (storm/substorm) and consideration of physical mechanisms confirming reality of the suggested scheme in parameters of the ionosphere and radio wave propagation; principles of creation of the functional model of the ionosphere-magnetosphere plasma with regard to its specific variations during the different phases of a disturbance.

From the point of view of applied tasks it is proposed a scheme of construction the algorithm of forecasting the magnetic storm or substorm onset on the basis of analysis of pre-disturbed behavior of the ionosphere and parameters of HF radio waves. Some possible recommendations for arranging the HF radio communications before, during and after the disturbed conditions are formulated.

Research facility. The HF multichannel Doppler equipment (located near St. Petersburg) allows to carry out measurements simultaneously on the four diagnostic radio paths of the different lengths (from 1000 to 10000 km). World-wide broadcasting transmitters could be used as some diagnostic stations.

The network of oblique ionospheric sounders and the small radar BIZON (an advanced digital ionosonde in a backscatter mode).

The INTERNET data of the magnetometers chain IMAGE and the ionosondes of Sweden and Finland: Kiruna, Lycksele, Uppsala, Sodankyla.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПЕРВИЧНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ ВЫСОКИХ И СВЕРХВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ НА УСТАНОВКЕ «ТУНКА»

Н.М. Буднев, Л.А. Кузьмичев

Иркутский государственный университет, Иркутск
nbudnev@api.isu.ru

THE EXPERIMENTAL STUDY OF PRIMARY COSMIC RAYS OF HIGH AND ULTRAHIGH ENERGY WITH "TUNKA" ARRAY

N.M. Budnev, L.A. Kuzmichev

Природа первичных космических лучей (ПКЛ) высоких и сверхвысоких энергий, их источники и механизмы ускорения – одна из самых интересных задач современной астрофизики. В мире создан ряд установок для изучения энергетических спектров и ядерного состава ПКЛ с энергий больше 10^{15} эВ: EAS-TOP, KASCADE, CASA-BLANKA, YAKUTSK, AGASA и др. Наиболее информативным методом исследования ПКЛ в диапазоне энергий 10^{15} – 10^{18} эВ является метод регистрации черенковского излучения широких атмосферных ливней (ШАЛ), рождающихся при взаимодействии ПКЛ с атмосферой. Идея метода состоит в том, что с помощью распределенной на поверхности Земли системы фотоприемников измеряются пространственно-временные характеристики черенковского импульса от ШАЛ. Исходя из количества черенковских фотонов, можно определить энергию частицы, породившей ШАЛ. Информация о массе частицы может быть получена из характера продольного развития ШАЛ, главным образом из положения его максимума. Два параметра очень чувствительны к положению максимума ливня. Один – крутизна функции пространственного распределения (ФПР) черенковского света, другой – длительность импульса света. Направление прихода первичной частицы очень точно восстанавливается по временам срабатывания фотоприемников. Характеристики черенковского импульса значительно меньше флуктуируют по сравнению с заряженной компонентой ШАЛ, именно поэтому черенковский метод и обладает наилучшей точностью.

В 50 км к западу от южной оконечности озера Байкал расположена установка «Тунка», которая является крупнейшей черенковской установкой, предназначенной для изучения ШАЛ высоких энергий. В настоящее время она включает в себя 25 широкоугольных интегральных детекторов на базе фотоприемников «Квазар-370» и 4 детектора на базе фотоумножителей Top-EMI D669, в которых определяется форма черенковских импульсов от ШАЛ. Детекторы размещены внутри квадрата площадью около 0.1 км^2 . В результате обработки данных о 2 млн событий, зарегистрированных на установке «Тунка», получен дифференциальный энергетический спектр ПКЛ в области энергий от 0.5 ПэВ до 100 ПэВ. Спектр имеет резкий излом при энергии 3 ПэВ. Ниже излома спектр имеет степенной вид с показателем 2.65 ± 0.01 . При энергии выше 6 ПэВ спектр аппроксимируется степенной функцией с показателем 3.07 ± 0.05 . В области энергий от 3 до 6 ПэВ спектр единой степенной функцией не описывается. Массовый состав практически не зависит от энергии в области 1–10 ПэВ и по абсолютной величине не противоречит гипотетическому составу ПКЛ ($p:\text{He}:\text{CNO}:\text{Fe} = 0.3:0.3:0.2:0.2$) ($\langle \ln A \rangle = 1.75$). При дальнейшем росте энергии наблюдается быстрое утяжеление состава.

В настоящее время подготовлен проект установки «Тунка-133», площадь которой будет около квадратного километра, что позволит провести измерения энергетического спектра и ядерного состава ПКЛ вплоть до энергии 10^{18} эВ.

The origin and acceleration mechanisms of high and ultrahigh energy primary cosmic rays (CR) is one of the most interesting problem of the modern astrophysics. There are several different installations to study energy spectrum and mass composition of CR with energy more than 10^{15} eV: EAS-TOP, KASCADE, CASA-BLANKA, YAKUTSK,

AGASA etc. The Cherenkov method is the most informative one to study CR in the energy range 10^{15} – 10^{18} eV. The idea of the method is follow. A number of Cherenkov photons produced by charged particles of Earth Atmospheric Shower (EAS) is proportional particles number and, consequently, to energy of the nuclear which have caused it. The mass of a primary particle may be determined from character of longitudinal development of EAS, mainly, from location of its maximum. Two parameters are very sensitive to the last: one is a steepness of a lateral distribution function of the Cherenkov light, second is duration of a light pulse. The arrival direction of a primary nuclear can be found with accuracy 0.5 degree assuming the spherical shape of the Cherenkov light front from shower and using the times where the photodetectors was hit. The parameters of a Cherenkov pulse fluctuate much smaller in comparison with one for charged component of EAS. It is important reason why Cherenkov method have advantage compare with other one.

The Cherenkov array “Tunka” is located at distance 50 km to the west from a southern end of the Lake Baikal. The array comprises 25 “Quasar-370” phototubes with 37 cm photocathode diameter and 4 detectors of pulse form with photo multipliers Torn-EMI D669. Detectors are distributed inside a square with the area near 0.1km^2 . The energy spectrum and mass composition of CR with energy 0.5 PeV - 100 Pev were got as a result of data processing about 2 millions the events. The spectrum has a “knee” at energy 3 PeV. Below the knee the spectrum can be approximated with the slope 2.65 ± 0.01 . At energy is higher 6 PeV the spectrum slope is 3.07 ± 0.05 . In energy diapason 3 – 6 PeV the spectrum can not be approximated by power fuction. The mass composition practically does not depend on energy at energyf 1 - 10 PeV and its absolute value does not contradict hypothetical structure CR ($p:\text{He}:\text{CNO}:\text{Fe} = 0.3:0.3:0.2:0.2$) ($< \ln A > = 1.75$). At the large energy fast increasing of mass is observed.

The project of Тунка-133 array is discussed. This array will have size one square kilometer. Energy spectrum and mass composition of CR up to energy 10^{18} eV will be investigated with Tunka-133 with good accuracy.

СУЩЕСТВУЮТ ЛИ ФОТОНЫ?

А.Д. Гладун

Московский физико-технический институт (государственный университет)

gladun@gephys.mipt.ru

«Каждый физик думает, что он знает, что такое фотон. Я потратил всю жизнь, чтобы узнать, что такое фотон, и до сих пор этого не знаю».

А. Эйнштейн

В этом году исполняется 100 лет знаменитым статьям Альберта Эйнштейна, оказавшим решающее влияние на развитие современной физики.

В 1905 г. А. Эйнштейн опубликовал шесть статей.

1. «Об одной эвристической точке зрения, касающейся возникновения и превращения света» (о световых квантах и фотоэлектрическом эффекте). Статья поступила в редакцию журнала «Annalen der Physik» 18 марта. Она принесла автору Нобелевскую премию за 1921 год (присуждена 9 ноября 1922 г.). Статья была написана раньше докторской диссертации.

2. «Новое определение размеров молекул», поступила в редакцию 30 апреля. Это была докторская диссертация А. Эйнштейна, которую он защитил в Цюрихском университете.

3. «О движении взвешенных в покоящейся жидкости частиц, требуемом молекулярно-кинетической теорией теплоты» (о броуновском движении), поступила в редакцию «Annalen der Physik» 11 мая. Статья является прямым следствием его докторской диссертационной работы.

4. «К электродинамике движущихся тел». Это первая статья по специальной теории относительности. Получена тем же журналом 30 июня.

5. «Зависит ли инерция тела от содержащейся в нем энергии?» Это вторая статья А. Эйнштейна по специальной теории относительности. Она содержит соотношение $E = mc^2$. Получена редакцией того же журнала 27 сентября.

6. «К теории броуновского движения». Это вторая статья, написанная А. Эйнштейном о броуновском движении. Получена журналом «Annalen der Physik» 19 декабря.

В лекции дается комментарий статьи 1. Вопрос, поставленный в заглавии, представляется абсурдным лишь на первый взгляд. Дело в том, что в рамках нерелятивистской квантовой теории, где взаимодействие электрона с электромагнитным полем описывается полуклассически, гипотеза о существовании фотонов не является необходимой. Для объяснения законов фотоэффекта она представляется излишней. Что же на самом деле показал Эйнштейн? Каков современный взгляд на природу фотона?

В лекции сделаны попытки ответить на эти и другие вопросы.

**ИССЛЕДОВАНИЯ ВЗАИМОСВЯЗИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ
КРАЙНЕ НИЗКОЧАСТОТНОГО ДИАПАЗОНА С ГРАВИТАЦИОННЫМИ ПОЛЯМИ
ГЕОФИЗИЧЕСКОГО И АСТРОФИЗИЧЕСКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ**

**Л.В. Грунская, В.А. Ефимов, М.Ю. Федотов, М.С. Соколов, В.Н. Морозов, А.В. Киселев,
А.В. Тарасов, А.А. Закиров**

Владимирский государственный университет, Владимир
grunsk@vpti.vladimir.ru

**INVESTIGATIONS OF THE INTERACTION BETWEEN THE ELF EARTH ELECTROMAGNETIC
FIELD AND THE GRAVITATIONAL FIELDS OF GEOPHYSICAL AND ASTROPHYSICAL ORIGIN**

**L.V. Grunskaya, V.A. Efimov, M.Yu. Fedotov, M.S. Sokolov, V.N. Morozov,
A.V. Kiselev, A.V. Tarasov, A.A. Zakirov**

Рассмотрена задача о распространении возмущений электрического поля из ионосферы в нижнюю атмосферу с учетом конечной электрической проводимости земной коры. По результатам синхронных регистраций на сети разнесенных в пространстве станций: экспериментального полигона Владимирского государственного университета (ВлГУ), станции на радиофизическом факультете ВлГУ, переносной станции в ГГО НИЦ ДЗА (Санкт-Петербург) – осуществлена обработка с помощью оптимального приемника и получены достоверные оценки амплитуд спектральных компонент электрического поля в приземном слое атмосферы в ультранизкочастотном (УНЧ) диапазоне, рассчитаны отношения сигнал/шум и вероятности ошибок на частотах термогравитационных солнечных приливов. Расширена сеть станций и организаций, включенных в программу экспериментального и теоретического исследования взаимосвязей между электромагнитными и гравитационными полями в приземном слое: ВлГУ – мониторинг электрического и магнитного поля в приземном слое 14-канальным приемным комплексом на экспериментальном полигоне и 5-канальным приемным комплексом в г. Владимире; ИЗМИРАН – данные регистраций магнитного поля Земли; ГАИШ МГУ – регистрация данных гравиметрии; ГГО – НИЦ ДЗА – регистрация вариаций электростатического поля Земли и разработка моделей воздействия лунно-солнечных приливов на электрическое поле приземного слоя; Казанский государственный университет – разработка нового направления в теории гравитации, связанного с исследованием электромагнитных явлений, индуцированных гравитационно-волновыми эффектами; создание моделей поведения электродинамических систем, действующих на фоне гравитационных волн; Ульяновский государственный университет – разработка методов высокоразрешающего спектрального анализа экспериментальных данных. Обеспечен режим разнесенного в пространстве синхронного мониторинга электромагнитных полей крайне низкочастотного диапазона на сети станций (физический полигон ВлГУ, станция радиофизического корпуса ВлГУ, станция ГГО НИЦ ДЗА, ГАИШ МГУ), позволяющий использовать преимущества разнесенного в пространстве приема электромагнитных полей при выделении воздействия лунно-солнечных приливов и гравитационно-волновых источников. Разработан переносной приемно-регистрационный комплекс для его установки на выездных пунктах работы, служащий для непрерывных регистраций электрического поля приземного слоя атмосферы с привязкой к системе единого времени. Проведено теоретическое моделирование электрических процессов в приземном слое атмосферы. Впервые на основе богатого экспериментального материала, полученного по непрерывным синхронным регистрациям электрического и магнитного поля приземного слоя в течение 1997–2004 гг., исследованы статистические свойства полей в КНЧ- и УНЧ-диапазоне. Впервые с помощью радиотехнического метода оптимальной обработки экспериментальных данных по мониторингу электромагнитного поля приземного слоя атмосферы на сети разнесенных в пространстве станций за период 1997–2004 гг. удалось оценить амплитуды и фазы на частотах лунно-солнечных приливов. Достоверно выделены эффекты воздействия термогравитационных солнечных приливов и ряда гравитационных лунных приливов на электрическое поле приземного слоя атмосферы; оценены отношение сигнал/шум и вероятности ошибки на частотах приливов и гравитационно-волновых источников.

Работа осуществлена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований: гранты РФФИ № 01-05-64652, № 04-05-64895.

A task about the dispersion of the electric field disturbance out of the ionosphere into the lower atmosphere was considered taking into account the finite electric conductivity of the Earth surface. According to the synchronous recorders on the set of the separated in space stations: VSU experimental field complex, a station in the building of the University radio department, a portable station in the MYO SIC DMA, there was clone processing with the help of an optimal receiver, and the were received true estimations of the amplitudes of the electrical field spectral components in the atmosphere surface lower layer in the ULF-range, there were calculated the signal/noise ratios and the probabilities of error on the frequencies of the termogravitation of solar tides. The net of the stations and organizations included in the programme of the experimental and theoretical investigations of the interconnections between the electromagnetic and gravitational fields in the surface lower layer, was expanded: VSU–monitoring of the electrical and magnetic field in the surface lower layer with the 14-channel receiving system on the experimental ground and with the 5-channel receiving system in Vladimir; IZMI-RAN – the data of the recording of the Eart magnetic field; GAISH MSU – recording of the gravimetry data; MGO SIC

DMA – recording of the electrostatic Earth field variations and the elaboration of the models of the moon-solar tides influence on the electrical field of the surface lower layer; Kazan State University – the elaboration of the new direction in the gravitation theory connected with the investigations of the electromagnetic phenomena induced by the gravitational wave effects; making of the models of the behavior of the electrodynamical systems, acting on the background of the gravitational waves; Ulyanovsk State University – the elaboration of the methods of the experimental data spectral high permission analyses. There has been provided the mode of separated in space synchronous monitoring of the ELF electromagnetic fields on the set of stations (VSU physical proving ground and its station on the building, MY0 SIC DMA station, YAISH MGU) allowing to use the advantages of the separated in space receiving of the electromagnetic fields while extracting the influence of the moon and solar tides and the gravitational – wave sources. A portable receiving and recording system has been developed for installing it at the outside posts of the work which is used for continuous recording of the surface lower layer electrical field of the atmosphere with the control tie to the common timing system. There was simulated theoretically the electrical processes in the atmosphere surface lower layer. On the basis of the rich experimental material received from the continuous synchronous recording of the electrical and magnetic field of the surface lower layer for the period from 1997 to 2004 there have been investigated for the first time the statistical properties of the fields in ELF (extremely low frequency) and ULF (ultra-low frequency) range. It was managed to estimate for the first time the amplitudes and phases on the frequencies of the moon – solar tides with the help of the radiotechnical method of the experimental data optimal processing according to the monitoring of the atmosphere surface lower layer electrical field on the set of the separated in space stations for the period from 1997 till 2004. There were extracted for sure the effects of the thermogravitational solar tides and a number of the gravitational moon tides on the atmosphere surface lower layer electrical field; there was estimated the signal – to – noise ratio and the probabilities of error on the tide frequencies and the gravitational – wave sources.

The work is carried out with supporting of grants RFBR N 04-05-64895, Program STP №209.06.01.035.

ТРЕХМЕРНАЯ СТРУКТУРА ГЕОМАГНИТНОГО ХВОСТА/КОРОНАЛЬНОГО СТРИМЕРА И КИНЕТИЧЕСКИЕ ПРИБЛИЖЕНИЯ К ДАЛЬНИМ ОБЛАСТЯМ МАГНИТОСФЕР

¹В.М. Губченко, ¹В.В. Зайцев, ²Х.К. Бирнат, ²М.Л. Ходаченко, ²Х.О. Рукер

¹Институт прикладной физики, РАН, Нижний Новгород, Россия;

²Институт космических исследований, ААН, Грац, Австрия
ua3thw@appl.sci-nnov.ru

3D MAGNETOTAIL/SOLAR STREAMER STRUCTURE AND KINETIC APPROACH TO FAR REGIONS OF MAGNETOSPHERES

¹V.M. Gubchenko, ¹V.V. Zaitsev, ²H.K. Biernat, ²M.L. Khodachenko, ²H.O. Rucker

Мы предлагаем новый подход к самосогласованному решению основной проблемы физики космической плазмы, касающейся образования магнитного хвоста (или солнечного стримера) в потоке солнечного ветра (СВ), исходя из самосогласованного решения кинетического уравнения Власова совместно с уравнениями Максвелла [1]. Основными базовыми элементами, формирующими тонкую трехмерную структуру (3D), являются токовые слои, магнитные острова и магнитные жгуты, которые должны быть самосогласованны с потоком и источником магнитного поля при решении задачи. Внешний источник магнитного поля нами рассматривается как суперпозиция магнитного диполя (МД) и магнитного тороида (МТ). Эти источники погружены в поток плазмы солнечного ветра. МД не связан с частицами плазмы СВ и только частично связан с азимутально однородным распределением захваченных частиц, формирующим кольцевой ток. МТ появляется в результате неоднородного распределения по азимуту частиц в МД из-за потока СВ. СВ рассматривается как поток горячей бесстолкновительной плазмы с максвелловской функцией распределения, которая возмущена электромагнитными полями, возбуждаемыми источником. Возмущения формируют самосогласованную с полями 3D токовую систему в форме хвоста. Мы предполагаем, что частицы СВ не захватываются магнитными полями, а лишь имеют возмущенное движение относительно исходного прямолинейного. В этой ситуации в качестве начального шага к решению сложной 3D-задачи может быть применен линейный подход, который выражает интегральный отклик на воздействие электромагнитного поля на плазму в терминах диэлектрической проницаемости горячей бесстолкновительной плазмы. Результирующая магнитосфероподобная 3D-структура сформирована двумя типами цилиндрических гармоник: гармоникой «линейных токов» и гармоникой «соленоидальных токов». Первая гармоника образована двумя пространственно разнесенными и противоположными линейными токами, направленными вдоль потока, и она может быть названа цилиндрическим диполем. Эта гармоника генерируется МД-компонентой источника. Соленоидальная гармоника ассоциируется с Θ -структурой токовой системы с «нейтральным токовым слоем» внутри и образована суперпозицией двух соленоидов с противоположно направленными токами. Эта гармоника может быть названа также цилиндрическим тороидом. Данная гармоника появляется из-за МТ-компоненты в источнике магнитного поля. Энергия поступательного движения потока диссипирует на рассеяние частиц плазмы магнитным полем в связи с резонансным эффектом Ландау для частиц, имеющих малую скорость относительно магнитного поля. Оба типа гармоник выражаются через специальную характеристическую функцию, у которой в качестве параметра присутствует «кинетическое» магнитное число Рейнольдса. Это число в свою очередь выражено через специальный

масштаб пространственной дисперсии плазмы [2]. Данная функция анизотропна и имеет медленное спадание вдоль по потоку от источника и быстрое аperiодическое спадание перпендикулярно потоку с некоторым периодом пространственной модуляции. В результате мы получаем сравнительно быстрое спадание Θ -части токовой системы по сравнению с токовой системой цилиндрического диполя. Пространственная модуляция обуславливает тонкую структуру 3D-токовой системы, состоящей из токовых слоев и магнитных жгутов. Магнитные жгуты появляются в токовой системе цилиндрического диполя, а токовые слои появляются в токовой системе цилиндрического тороида. Эти тонкоструктурные элементы могут объяснить природу структур, обнаруживаемых в геомагнитном хвосте и стримерах, а также возникающих при численном моделировании. Мы вычислили поглощение энергии в потоке при формировании хвоста/стримера источниками типа МТ и МД. Эффективность этого процесса определяется величиной «кинетического» магнитного числа Рейнольдса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Siscoe G.L. 70 Years of Magnetosphere Modeling, Space Weather, Geophysical Monograph 125. P. 211–227.
2. Gubchenko V.M. Generation of Quasisteady Electromagnetic Field by Distributed Magnetic Dipole Moving in a Collisionless Plasma // Sov. J. Plasma Phys. 1988. V. 14, N 3. P. 186–190.

We propose a new approach for selfconsistent solution of the basic space plasma problem on magnetotail (or solar streamer) 3D structure formation by the solar wind (SW) flow in terms of the Vlasov kinetic equation. Basic 3D structure elements are current sheets, magnetic islands and magnetic ropes which are formed during plasma flow with external source interaction. The external source of the magnetic field we treat as a superposition of a magnetic dipole (MD) and a magnetic toroid (MT) and it is considered submerged inside SW flow. The MD is connected mainly with non SW plasma currents and it is produced only partly by the homogeneously distributed particles trapped in the planetary (or solar active region) magnetic field. Whereas the MT appears due to azimuthal asymmetry of population of the trapped particles in the original MD like field. The SW is considered as a hot, collisionless plasma with maxwellian velocity distribution function which fly from infinity and at arrival to the source region on selfconsistent way is disturbed by generated e.m. fields. Disturbances produce electric current flow around the source in taillike form. We assume that the wind particles are not trapped by magnetic field of the 3D structure and their direct trajectories are only slightly disturbed by e.m. fields. Thus, as the initial step, the linear approach can be applied to the plasma particles and we treat e.m. respond of plasma in terms of its tensor of dielectric permittivity. The 3D magnetosphere-like structure generated is formed by two different types of magnetic field cylindrical harmonics: the “line-current” harmonic and the “solenoidal” one. The first type of the harmonic has the form of two opposite line-currents running along the flow and can be called cylindrical dipole. It is generated by the MD component of the magnetic source. The “solenoidal” harmonic is associated with the “theta-type” current structure with “neutral sheet” formed as a superposition of two solenoids with opposite currents. It can be called cylindrical toroid. It appears due to the MT component of the external magnetic source. Direct energy of the SW flow is dissipated by Landau mechanism connected with inertia of small group of particles located in velocity phase space which are under the “resonance” condition and are in the rest relative to magnetic field. Both types of harmonics are expressed via a special characteristic function parameterized in terms of magnetic Reynolds number depending on the new specific plasma dispersion skin scale which appeared first in this problem [1]. We get a slow power law asymptotic decay in the downward direction of the plasma flow, whereas in the direction perpendicular to the flow we get a fast aperiodic decrease with a certain spatial modulation. This results in a faster spatial decay of the “theta-type” configuration as compared to the “line-current” one. Spatial modulation scale normalized on our skin-scale and has slow power law increase with distance from the sources. Spatial modulation effect explains fine structure elements magnetic ropes and current sheets. We get magnetic rope substructures in cylindrical dipole and current sheets substructures in cylindrical toroid. These fine elements are selfconsistent with flow and resemble observed structures in geomagnetic tail and streamer and similar to structures which can be seen in numerical modeling. We calculated energy absorption of the flow for the tail/streamer generation by MD and MT source. Effectivity of it depends on value of “kinetic” magnetic Reynolds number.

АППАРАТУРА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЯРКОСТИ ДНЕВНОГО НЕБА

Живко Стоянов Жеков, Ангел Петков Манев, Гаро Хугасов Мардиросян, Куню Иванов Палазов, Стилиян Живков Стоянов

Институт космических исследований Болгарской академии наук
zhekovz@yahoo.com

INSTALLATION FOR RESEARCH OF THE BRIGHTNESS OF THE DIURNAL SKY

Zhivko Stoyanov Zhekov, Angel Petrov Manev, Garo Hugasov Mardirosyan, Kunyu Ivanov Palazov, Stiliyan Zhivkov Stoyanov

Необходимость проведения исследований яркостных характеристик рассеянного света дневного безоблачного неба в оптическом диапазоне солнечного спектра вызвана тем, что в этом биологически активном спектральном диапазоне выполнено ограниченное число экспериментальных работ.

Дифференциальные измерения рассеянной радиации в разнообразных оптических ситуациях в атмосфере Земли проводились редко. Однако важно отметить, что в исследованиях яркости дневного неба существенные ошибки вносят следующие факторы: отсутствие контроля стабильности оптических свойств атмосферы во время измерений, эффект Форбса (в ультрафиолетовой части спектра), и попадание рассеянного света неба различной кратности из-за большого телесного угла аппаратуры.

Известно, что диффузная радиация может служить источником информации об оптических свойствах атмосферы. Однако считается, что поглощение в озоне уменьшает интенсивность высоких порядков. Вследствие поглощения меняется не только яркость, но и степень поляризации неба.

Целью настоящей работы является конструирование и описание аппаратуры для исследования яркости дневного неба на территории Шуменского плато.

Представлена блок-схема аппаратного комплекса и ее действие.

Исходя из актуальных требований исследовать яркость дневного неба в разнообразных геофизических условиях, предполагается произвести комплексный атмосферно-оптический эксперимент с возможностью включения аппаратного комплекса в состав мобильной станции.

The necessity of scientific research of the bright characteristics of the scattered light of the diurnal sky in the optical scope of the sunny specter arouses from the fact that a limited number of experimental developments have been carried in this biologically active spectral scope.

Practically, there are few differential measurements of scattered radiation carried out in various optical situations of the Earth atmosphere. It is very necessary to note that the following factors contribute for significant mistakes when researching the brightness of the diurnal sky: lack of control of the optical properties of the atmosphere during the measurements, the Forbs effect (in the ultraviolet part of the specter), and the presence of scattered sky light at a big field of vision of the installation.

It is known that the diffusion radiation can be a source of information for reading the properties of the atmosphere. The opinion that the absorption of the ozone decreases the intensity of the ultraviolet radiation is established. Due to the presence of absorption, not only the brightness is changed, but also the degree of polarization of the sky.

Proceeding from the contemporary requirements for complex atmosphere experiment, the aim of the current work is construction and description of an installation for research of the diurnal sky at the territory of the Shumen plateau which is characteristic of the upper terrains of North-East Bulgaria.

A block scheme and the operation of the installation are presented.

Proceeding from the contemporary requirements for research of the brightness of the diurnal sky in various geophysical conditions, it is proposed that a complex atmosphere and optical experiment should be carried out with the possibility to include the installation complex in the composition of a mobile station.

РОЛЬ КОСМИЧЕСКОЙ И ТРОПОСФЕРНОЙ ПОГОДНЫХ СИСТЕМ В ТУРБУЛИЗАЦИИ ВЕРХНЕЙ ИОНОСФЕРЫ

А.В. Зализовский, Ю.М. Ямпольский

Радиоастрономический институт НАН Украины, Харьков, Украина
zaliz@rian.ira.kharkov.ua

UPPER ATMOSPHERE TURBULIZATION: THE ROLE OF THE TROPOSPHERIC AND SPACE WEATHER SYSTEMS

A.V. Zalizovski, Yu.M. Yampolski

В лекции рассматриваются возможности влияния космической и тропосферной погодных систем на ионосферное F-рассеяние. В основу положены результаты анализа данных вертикального зондирования ионосферы, мониторинга геомагнитной активности и метеонаблюдений за 1993–2003 гг., полученные в Антарктике на украинской станции «Академик Вернадский». Информационными параметрами, иллюстрирующими состояние тропосферной погоды, являются скорость и направление приземного ветра, космическая погода описывается возмущенностью магнитного поля. Были установлены два механизма образования неоднородностей в ионосфере. Первый связан с распространением атмосферных гравитационных волн (АГВ) от поверхности Земли на высоты ионосферы, второй – с влиянием возмущенности геомагнитного поля. Степень воздействия магнитного поля на F-рассеяние возрастает во время максимума солнечной активности и преимущественно вблизи равноденствий. В зимние месяцы в Южном полушарии статистическая связь эффекта с возмущенностью магнитного поля ослабевает, в то же время усиливается влияние погодных процессов в тропосфере. Вероятность наблюдения F-рассеяния в эти месяцы заметно возрастает в случае устойчивого северо-восточного ветра у поверхности Земли по сравнению со временем, когда преобладает юго-западный перенос. Помимо сезонного хода, зависимость турбулизации F-области от тропосферной погоды имеет довольно сильную суточную вариацию. Полученные экспериментальные результаты используются для выяснения особенностей генерации АГВ в тропосфере и их распространения на ионосферные высоты. Обсуждаются физические механизмы и модели переноса энергии возмущений от нейтральной атмосферы к ионизированным областям.

The possible effect of space weather and tropospheric weather systems on the ionospheric spread-F is considered, based on the results of analyzing the data of vertical ionospheric sounding, levels of geomagnetic activity and weather monitoring in 1993 through 2003 that were obtained in Antarctica at the Ukrainian station “Akademik Vernadsky”. The informative parameters illustrating the tropospheric weather condition are the speed and direction of the surface wind, whereas space weather is described by the level of geomagnetic field disturbance. Two mechanisms of ionospheric irregularity formation have been established. One is connected with the propagation of atmospheric gravity waves (AGW) from the Earth’s surface to ionospheric altitudes, while the other with the effect of geomagnetic field disturbance. The degree of influence of the geomagnetic field on spread-F increased during maximum solar activity, mainly close to the equinox. The statistical connection between the spread-F and geomagnetic field decreased during winter months in the Southern hemisphere, while the impact of weather processes in the troposphere became stronger. The observation probability of spread-F during these months normally increases for periods of steady North-Eastern wind near the surface, compared with the periods of predominantly South-Western air mass transfer. In addition to the seasonal run, the dependence of F-region turbulization upon tropospheric weather demonstrated a rather strong diurnal variation. The experimental results obtained are used to clarify the details of AGW generation in the troposphere and their propagation to ionospheric heights. The physical mechanisms and models of transport of the disturbance energy from the neutral atmosphere to the ionized regions are discussed.

МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ В ОКОЛОЗЕМНОМ КОСМИЧЕСКОМ ПРОСТРАНСТВЕ

Э.С. Казимировский

Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск
ekazimirovsky@hotmail.com

THE METEOROLOGICAL EFFECTS AT THE NEAR-EARTH SPACE ENVIRONMENT

Edward Kazimirovsky

Термосфера и ионосфера являются как частью околоземного космического пространства, так и весьма изменчивой областью верхней атмосферы Земли. Наша цивилизация зависит от функционирования ряда технологических систем, на которые физические и химические процессы, происходящие в этой области, оказывают существенное воздействие. Поэтому их изучение, а также мониторинг и оперативный прогноз изменений в системе термосфера/ионосфера имеют значение для освоения околоземного пространства, для работы коммуникационных и навигационных систем. Причиной изменчивости системы являются изменения внешнего воздействия. Воздействие сверху – это потоки солнечного ионизирующего излучения и энергичных частиц, электрические поля и токи, возникающие и меняющиеся в процессе взаимодействия солнечного ветра, магнитосферы и ионосферы.

Но существует и воздействие снизу – от более плотных тропосферы и стратосферы, той области атмосферы, которую изучает классическая метеорология. Именно там генерируется и распространяется вверх широкий спектр внутренних волн – планетарных, приливных, акустико-гравитационных. Грозы, ураганы, торнадо, тайфуны и даже землетрясения также могут стать причиной изменений в ионосфере. Антропогенное воздействие, возможно, прослеживается и до высот верхней атмосферы.

В лекции представлен краткий обзор экспериментальных результатов, свидетельствующих о наличии заметных метеорологических эффектов (особенно для средних широт и магнитно-спокойных условий). Аэрономия слоя D ионосферы, зимняя аномалия поглощения радиоволн, перемещающиеся ионосферные возмущения, незональность и региональные особенности ветрового режима термосферы, появляемость и структура спорадических ионосферных слоев, неоднородности в ионосфере (F-рассеяние), изменчивость критических частот слоя F2, изменения вертикальных профилей электронной концентрации и общего электронного содержания – все это следует рассматривать в связи с тропосферными и стратосферными процессами. «Ионосферная погода» как составляющая «космической погоды» (т.е. изменения от дня ко дню и от часа к часу) еще ждут своего объяснения в дополнение к климатологическим, гелиоциклическим и сезонным вариациям.

The terrestrial thermosphere and ionosphere form the most variable part of the Earth's atmosphere. Because our society depends on technological systems that can be affected by thermospheric and ionospheric phenomena, understanding, monitoring and ultimately forecasting the changes of the thermosphere – ionosphere system are of crucial importance to communications, navigation and the exploration of near-Earth space.

The reason for the extreme variability of the thermosphere-ionosphere system is its rapid response to external forcing from the various sources, i.e. solar ionizing flux, energetic particles and electric fields imposed through the interaction between the solar wind, magnetosphere and ionosphere as well as coupling from below (“meteorological influences”) by the upward propagating, broad spectrum, internal atmospheric waves (planetary waves, tides, gravity waves) generated in the stratosphere and troposphere. Thunderstorms, typhoons, hurricanes, tornados and even seismological events could have observable consequences in the ionosphere as well. Releases of trace gases from human activity have the potential to cause a change in the lower and upper atmosphere.

A brief overview is presented concerning the discoveries and experimental results that have confirmed that the ionosphere is subject to meteorological control (especially for geomagnetic quiet conditions and for middle lati-

tudes). The D-region aeronomy, the winter anomaly of radiowave absorption, wave-like travelling ionospheric disturbances, the non-zonality and regional peculiarities of the lower thermospheric winds, the sporadic-E occurrence and structure, spread-F events, the variability of electron density profiles and Total Electron Content, variability of foF2, etc., should all be considered in connection with tropospheric and stratospheric processes. "Ionospheric weather", as a part of space weather, (hour-to-hour and day-to-day variability of the ionospheric parameters) awaits explanation and prediction within the framework of the climatological, seasonal, and solar-cycle variations.

НЕЛИНЕЙНЫЕ ВОЛНЫ В КОСМИЧЕСКОЙ ПЛАЗМЕ

Г.Н. Кичигин

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

NONLINEAR WAVES IN SPACE PLASMA

G.N. Kichigin

В докладе рассматривается роль нелинейных волн в космической плазме. Основное внимание уделено самому распространенному типу волн – ленгмюровским волнам. Впервые основополагающие результаты при исследовании нелинейных ленгмюровских волн в плазме были получены в работах [1–4], где рассматривались установившиеся плоские волны в безграничной холодной бесстолкновительной плазме, состоящей из электронов, которые считались холодными, и ионов, которые предполагались бесконечно тяжелыми и неподвижными. В работах [1–4] для ленгмюровских волн получены формулы, из которых следует, что амплитуда электрического поля и частота волн являются функцией предельной скорости электронов в волне, причем величина этой скорости не определена, так как является неизвестной константой, и по этой причине полученные в [1–4] результаты фактически не дают полной информации о свойствах волн. В настоящей работе, используя исходные уравнения работ [1–4], мы полностью решили поставленную задачу, т.е. определили параметры, при которых существуют нелинейные решения, нашли аналитические формулы, которые определяют все характеристики волн, а также профиль волны. Мы показали, что амплитуда потенциала, длина волны и частота нелинейных волн зависят от двух параметров: 1) фазовая скорость, 2) амплитуда электрического поля волн. Для частоты нелинейных волн мы получили точную и весьма простую формулу.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ахиезер А.И., Любарский Г.Я. // ДАН. 1951. Т. 80, № 2. С. 193.
2. Ахиезер А.И., Половин Р.В. // ДАН. 1955. Т. 102, № 5. С. 919.
3. Ахиезер А.И., Половин Р.В. // ЖЭТФ. 1956. Т. 30. С. 915.
4. Cavalier A. // Nuovo Cimento. 1962. V. 23. P. 440.

In the report the role of nonlinear waves in space plasma is considered. The basic attention is given to the most widespread type of waves – Langmuir waves. For the first time basic results at research of nonlinear Langmuir waves in plasma were received in works [1–4], where the steady-state flat waves in boundless cold collisionless plasma were considered. Plasma was composed from cold electrons, and ions, which assume indefinitely heavy and motionless. In works [1–4] for Langmuir waves the formulas are received, from which follows, that amplitude of an electrical field and frequency of waves are function of electrons speed limit, and the value of this speed is not determined, as it is a unknown constant, and for this reason received in [1–4] the results actually do not give the complete information on properties of waves. In the present work, using the initial equations of works [1–4], we completely have solved the task, i.e. we have defined parameters, at which there are nonlinear waves, we have found the analytical formulas, which determine all characteristics of waves, and also structure of a wave. We show, that amplitude of potential, length of a wave and frequency of nonlinear waves depend on two parameters: 1) phase speed, 2) amplitude of an electrical field of waves. For frequency of nonlinear waves we have received the exact and rather simple formula.

ИССЛЕДОВАНИЕ ГЛОБАЛЬНЫХ РЕЗОНАНСОВ В ПОЛОСТИ ЗЕМЛЯ– ИОНОСФЕРА

С.А. Колесник

Сибирский физико-технический институт
serkol@elefot.tsu.ru

RESEARCH OF GLOBAL RESONANCES IN THE CAVITY EARTH–IONOSPHERE

S.A. Kolesnik

История исследований электромагнитных (ЭМ) полей крайне низких частот (КНЧ) берет свое начало в далеких 50-х гг. прошлого века, когда впервые В.О. Шуман теоретически рассчитал спектр собственных частот

глобального резонатора Земля–ионосфера, отметив роль грозových разрядов как естественных источников КНЧ-колебаний [1]. Впоследствии существование резонансных частот было экспериментально выявлено М. Балсером и Ч. Вагнером в 1960 г. [2]. Они обнаружили резонансные максимумы, существующие в естественном ЭМ-шумовом фоне, которые наблюдались в дальнейшем в разное время различными авторами [3–5].

Особый интерес к шумановским резонансам в рамках проблемы современной ЭМ-экологии зародился в 70-х гг. прошлого века, когда была выдвинута гипотеза о возможности влияния ЭМ-полей на живые организмы. В частности, ЭМ-сигналы КНЧ-диапазона могут выступать в качестве внешних синхронизирующих сигналов для биоритмов организма человека и высших позвоночных [6].

Проблема изучения природы формирования собственных частот шумановского резонатора, с точки зрения радиофизики, геофизики и электромагнитной экологии, подразумевает рассмотрение целого комплекса задач, таких как: определение свойств источников возбуждения резонатора (пространственного расположения, спектральных характеристик, изменения интенсивности излучения источников во времени); рассмотрение процессов распространения радиоволн в полости Земля–ионосфера; выявление диэлектрических свойств нижней ионосферы в планетарном масштабе в зависимости от времени суток, сезона года и гелио-геофизических условий.

К настоящему моменту времени накоплен большой экспериментальный материал по исследованию ЭМ-резонансов КНЧ-диапазона. Однако разрозненные экспериментальные данные и небольшая продолжительность проводимых ранее наблюдений не позволяют построить полную картину пространственно-временного распределения резонансных частот в планетарном масштабе. Одним из возможных способов решения данной проблемы является определение резонансных частот методами непрерывного мониторинга и математического моделирования.

Проводимые с марта 1997 г. в Томске в Сибирском физико-техническом институте измерения ЭМ-полей крайне низких частот в режиме непрерывного мониторинга позволили накопить большой объем уникальных данных. Методика проведения измерений [7, 8] позволяет определять основные резонансные характеристики (частоты, амплитуды и добротности) для первых мод глобального резонатора Земля – ионосфера.

Известно, что резонансные характеристики в значительной мере зависят от источников возбуждения, а также условий распространения ЭМ-волн внутри резонатора и диэлектрических свойств стенок резонатора [9]. Было экспериментально установлено, что резонансные характеристики претерпевают изменения во времени. Для каждой резонансной частоты имеет место годовая повторяемость. Также у каждой резонансной частоты есть свой характерный сезонный ход. Наряду с сезонными изменениями, имеют место изменения с масштабом порядка суток и менее.

При рассмотрении вопроса о распространении радиоволн в атмосфере Земли необходимо учитывать не только отражательные свойства ионосферы и поверхности Земли, но и поглощение радиоволн ионосферной плазмой, учет которых возможен только на количественном уровне описания рассматриваемой задачи, т.е. в нашем случае (множество источников и нестационарная, неоднородная ионосфера) – на уровне математического моделирования.

Таким образом, модель пространственно-временного распределения спектральных характеристик ЭМ-фона КНЧ-диапазона должна включать в себя в качестве основных составных частей:

- модель среды распространения радиоволн;
- модель источников радиоизлучения;
- модель расчета амплитудно-частотных характеристик ЭМ-фона КНЧ-диапазона.

Предварительные расчеты планетарного распределения резонансных частот проводились следующим образом. На основе многолетних спутниковых данных по грозовой активности была построена модель источников излучения в планетарном масштабе. В качестве количественной характеристики было выбрано число гроз, приходящихся на единицу площади, в зависимости от сезона года и местного времени. В результате обработки спутниковых данных было замечено, что интенсивность грозových разрядов не зависит от года наблюдения, т.е. не зависит от уровня солнечной активности. Этот факт позволил в модели источников излучения исключить зависимость от 11-летнего цикла солнечной активности.

Далее, от каждого источника по всевозможным направлениям рассчитывалась эффективная диэлектрическая проницаемость, решалось характеристическое уравнение и в каждой точке пространства находилась средняя резонансная частота. Для расчета комплексной диэлектрической проницаемости использовались глобальные модели ионосферы (IRI–90) [10] и термосферы (MSISE–90) [11]. Далее эти частоты усреднялись по соответствующим модам. Для другой точки пространства проводились аналогичные расчеты уже по другим траекториям. Суммарная картина планетарного распределения первых трех резонансных частот показала, что наибольшие значения резонансных частот лежат в области экватора, т.е. в месте нахождения основных источников излучения.

В результате проведенных численных расчетов был проведен сравнительный анализ результатов численных расчетов с экспериментальными данными. Хорошее качественное и количественное согласие говорит об адекватности разработанной математической модели.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Schumann W.O. Über die Strahlungslosen Eigenschwingungen einer leitenden Kugel die von Luftschicht und einer Ionosphärenhülle umgeben ist // Z. Naturforsch. 1952. N 7a. P. 149–154.
2. Balser M., Wagner C.A. On Frequency Variations of the Earth–Ionosphere Cavity Resonances // Nature. 1960. V. 188. P. 638–641.
3. Galejs J. Schumann Resonances // J. Res. NBS, Radio Sci. 1965. V. 69D, N 8. P. 1043–1055.
4. Rycroft M.J. Resonances of the Earth–Ionosphere Cavity Observed at Cambridge, England. Ibid. P. 1071–1081.
5. Egeland A., Larsen T.R. Measurements of the Earth–Ionosphere Cavity Resonances Frequencies at High Latitude // Phys. Norveg. 1997. P. 85–97.
6. Холодов Ю.А. Реакции нервной системы на электромагнитные поля. М.: Наука, 1975. 211 с.
7. Колесник А.Г., Колесник С.А., Колмаков А.А., Шинкевич Б.М. Шумановские резонансы. 1. Мониторинг электромагнитного фона КНЧ-диапазона // Изв. вузов. Физика. 2003. № 2. С. 69–73.
8. Колесник А.Г., Колесник С.А., Колмаков А.А. и др. Шумановские резонансы. 2. Сезонно-суточные вариации резонансных частот мониторинг электромагнитного фона КНЧ диапазона // Изв. вузов. Физика. 2003. № 11. С. 92–95.
9. Блюх П.В., Николаенко А.П., Филиппов Ю.Ф. Глобальные электромагнитные резонансы в полости Земля–ионосфера. Киев.: Наук. думка, 1977. 200 с.
10. Rawer K., Bilidza D., Ramakrishnan S. Goals and Status of the IRI // Rev. Geophys. Space Phys. 1987. V. 16, N 2. P. 177–181.
11. Hedin A.E. Neutral Atmosphere Empirical Model from the surface to lower exosphere MSISE90 // J. Geophys. Res. 1991. V. 96. P. 1159–1172.

The history of researches electromagnetic (EM) fields of the lowest frequencies (ELF) takes the beginning in far 50th years of the last century when for the first time V.O.Schuman has theoretically calculated a spectrum of own frequencies of the global resonator the Earth - ionosphere, having noted a role of lightning discharges as natural sources of ELF-fluctuations [1]. Subsequently existence of resonant frequencies has been experimentally revealed by M.Balser and C.Wagner in 1960 [2]. They have found out the resonant maxima existing in natural EM-background which were observed further at various times by various authors [3–5].

Special interest to Schuman's resonances within the framework of a problem of modern EM-ecology has arisen in 70th years of the last century when the hypothesis about an opportunity of influence of EM-fields on alive organisms has been put forward. In particular, EM-signals of the ELF-range can represent itself as external synchronizing signals for biorhythms of an organism of the person and the supreme vertebrals [6].

The problem of studying of the nature of formation of own frequencies the Schuman's resonator, from the point of view of radiophysics, geophysics and electromagnetic ecology, means consideration of the whole complex of tasks, such as: definition of properties of sources of excitation of the resonator (a spatial location, spectral characteristics, change of intensity of radiation of sources in time); consideration of processes of distribution of radiowaves in a cavity the Earth–ionosphere; revealing of dielectric properties of the bottom ionosphere in planetary scale depending on time of day, a season of year and helio-geophysical conditions.

By the present moment of time the big experimental material on research of EM-resonances of the ELF-range is accumulated. However, separate experimental data and small duration spent before supervision do not allow to construct a full picture of space-time distribution of resonant frequencies in planetary scale. One of possible ways of the decision of the given problem is definition of resonant frequencies by methods of continuous monitoring and mathematical modelling.

Spent since March, 1997 in Tomsk in the Siberian Physical and Technical Institute of measurement ELF EM fields in a mode of continuous monitoring have allowed to accumulated great volume of the unique data. The method of carrying out of measurements [7, 8] allows to determine the basic resonant characteristics (frequencies, amplitudes and qualities) for the first fashions of the global resonator the Earth - ionosphere.

It is known, that resonant characteristics appreciably depend on sources of excitation, and also conditions of distribution of EM-waves inside the resonator and dielectric properties of walls of the resonator [9.] has been experimentally established, that resonant characteristics undergo changes in time. For each resonant frequency annual repeatability takes place. Also each resonant frequency has characteristic seasonal changes. Alongside with seasonal changes with scale about day and less take place.

By consideration of a question on propagation of radiowaves in an atmosphere of the Earth it is necessary to take into account not only refractive properties of an ionosphere and a surface of the Earth, but also absorption of radiowaves by ionospheric plasma which account is possible only at a quantitative level of the description of a considered task, i.e. in our case (set of sources and a non-stationary, non-uniform ionosphere) – at a level of mathematical modelling.

Thus, the model spatially – time distribution of spectral characteristics EM of a background of the ELF-range should include the basic components:

- model of the environment of propagation of radiowaves;
- model of sources of a radio emission;

- model of calculation of amplitude-frequency characteristics EM of a background of the ELF-range.

Precomputations of planetary distribution of resonant frequencies were carried out as follows. On the basis of the long-term satellite data on storm activity the model of sources of radiation in planetary scale has been constructed. As the quantitative characteristic the number of the thunder-storms, falling unit of the area has been chosen, depending on a season of year and local time. As a result of processing satellites of the data it has been noticed, that intensity of lightning discharges does not depend on one year of supervision, i.e. does not depend from a level of solar activity. This fact has allowed to exclude dependence on a 11-years cycle of solar activity in model of sources of radiation.

Further, from each source on every possible directions effective dielectric constant is calculated, the characteristic equation was solved and in each point of space was calculated an average resonant frequency. For calculation of complex dielectric constant global models of an ionosphere (IRI-90) [10] and thermosphere (MSISE-90) [11] were used. Further these frequencies were averaged on corresponding fashions. For other point of space similar calculations already on other trajectories were carried out. The total picture of planetary distribution of first three resonant frequencies has shown, that the greatest values of resonant frequencies lay in the field of equator, i.e. in the location of the basic sources of radiation.

As a result of the carried out numerical calculations the comparative analysis of results of numerical calculations with experimental data has been carried out. The good qualitative and quantitative consent speaks about adequacy of the developed mathematical model.

МОДЕЛЬ ОБРАЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ В ЕДИНОМ МЕХАНИЗМЕ РОЖДЕНИЯ СОЛНЦА

В.В. Кузнецов

Институт космофизики и распространения радиоволн ДВО РАН п. Паратунка, Камчатка

vvk@ikir.kamchatka.ru

THE MODEL OF SOLAR SYSTEM FORMATION IN THE SINGLE MECHANISM OF THE SUN BIRTH

V.V. Kuznetsov

Предложена принципиально новая модель образования и эволюции Солнечной системы в едином механизме рождения звезды – Солнца. Наличие фрактальности, скейлинга и бифуркации в Солнечной системе может говорить о том, что в момент ее образования имели место процессы самоорганизации. Оценка величины фрактальной размерности (D) планетарных расстояний (R) от номера планеты (n), $D = \ln R / \ln n$ показала, что D внутренних планет одинакова и равна 1.75, а у внешних возрастает по мере увеличения n от 1.97 у пояса астероидов до 2.6 у Нептуна. Характер зависимости $D(n)$ показывает, что внутренние планеты формировались в условиях, отличающихся от условий формирования внешних планет. В процессе образования Солнечной системы в области пояса астероидов произошла бифуркация, разделившая его на две различные стадии. К моменту бифуркации протосолнечный диск был разбит на кольца и в каждом из колец начался процесс формирования планет.

Процесс формирования Солнца, планет и их спутников един, его время примерно равно времени формирования Солнца. Эта посылка определяет «горячий» механизм образования планет и спутников Солнечной системы.

Проблема образования Солнца, Земли, других планет и их спутников – одна из самых старых проблем, волнующих человечество. Механизм образования планеты играет принципиальную роль и определяет ее физические свойства и особенности эволюции. В течение последних 50 лет принято рассматривать только один из двух возможных сценариев образования Земли и других планет. Это сценарий, по которому Земля постепенно, в течение примерно 100 млн. лет, «склеивалась» из планетозималей, возникающих в протопланетном облаке. Такой механизм приводит к образованию «холодной» планеты, так как все тепло, которое выделяется при ее формировании, излучается в космос. Другой возможный механизм образования планеты – быстрое сжатие ее вещества за счет самогравитации. При этом вещество планеты, в том числе и Земли, оказывается нагретым до высокой температуры, а тепло, выделяющееся при образовании, запасается в ее недрах. Например, вещество Земли при таком способе «изготовления» оказывается нагретым до температуры $\sim 30\,000\text{ K}$ [1]. Температура вещества Юпитера в момент его образования, согласно оценки, аналогичной [1], оказывается порядка $300\,000\text{ K}$ и т.п.

Механизм образования холодной Земли и других планет Солнечной системы считается общепринятым. Однако согласно экспериментальным данным астрономии и астрофизики этот механизм не получил ни одного подтверждения. По-видимому, первый «удар» механизму холодного образования планет был нанесен после интерпретации данных, полученных космическими аппаратами «Пионер-X» и «Пионер-XI», с помощью которых 25 лет тому назад было обнаружено мощное тепловое излучение, исходящее от Юпитера [2]. В этих экспериментах так же обнаружена высокая симметрия гравитационного поля Юпитера, характерная для газового шара. Автор [2] оценил температуру центральной части Юпитера по величине теплового пото-

ка из его недр. Эта температура оказалась равной 165 000 К, что примерно в два раза ниже, чем наша оценка (см. рис. 4). После открытия теплового излучения Юпитера возникла дискуссия о том, что представляет собой Юпитер: планету или звезду. Заметим, что в последнее время появились работы, в которых, например как в [3], авторы допускают, что недра Юпитера, как и других планет гигантов, горячие. Второй «удар» механизму холодного образования планет был нанесен открытием «коричневых карликов» – инфракрасных звезд, занимающих по массе промежуточное положение между Юпитером и Солнцем [4–6]. Возникла парадоксальная ситуация: Юпитер – планета холодная, в недрах которой водород находится в жидком, и даже твердом состоянии, а коричневый карлик, масса которого всего в 10 раз больше, чем у Юпитера, – звезда (хоть и инфракрасная). Наконец, результат, полученный в самое последнее время с использованием внеатмосферного телескопа Хаббла [7], можно считать третьим и самым решительным «ударом» по холодной модели. В [7] приведены результаты исследований спектров пропускания галактического электромагнитного излучения в широком диапазоне длин волн при просвечивании circumstellar disks in the Orion nebula. Возраст этого circumstellar disks не превышает 100 000 лет. Согласно общепринятой модели образования планет в таком диске должны находиться планетозимали, рассеивающие это излучение. Однако ожидаемого эффекта поглощения электромагнитного излучения не обнаружено. Авторы [7] пришли к выводу, что планеты в этом диске уже сформировались, хотя их время формирования значительно меньше (в 1000 раз!), чем следует из принятой модели формирования планет.

Что же такое планеты? Оказывается, такая постановка вопроса вполне своевременна и актуальна. Данные по обнаружению планет в других звездных системах и изучению планетарных туманностей – своеобразных «колыбелей» планет, полученные с помощью телескопа Хаббла в самые последние годы в межзвездной астрономии, вполне оправдывают привлечение внимания к такому, казалось бы, весьма тривиальному вопросу. На страницах журнала Science [8] и в Internet [9] в 2001 г. разыгралась дискуссия на тему: “What is a Planet?” Эта дискуссия показала, что однозначно ответить на поставленный вопрос пока нет возможности. Вероятно, дело в том, что холодная модель образования планет находится в противоречии с данными, касающимися проблемы формирования планет, полученными в последнее время.

Предлагаемая модель образования Солнечной системы [10] в едином механизме с рождением звезды – Солнца пытается решить перечисленные проблемы:

- Юпитер, как и другие планеты-гиганты, – планета горячая. (Можно сделать предположение, что источником теплового потока Юпитера может быть, например, механизм рекомбинации ионизированного в момент образования планеты водорода);

- Коричневые карлики, – естественные в природе образования, связующие звезды с газообразными планетами-гигантами. (Оценив внутреннюю температуру Коричневых карликов, можно предположить, что действующий в их недрах механизм состоит в синтезе водорода из протонов и нейтронов).

- Оцененное время образования планет (для Земли примерно 10 000 лет) существенно меньше 1 млн лет, что соответствует оценке Троопы [7] и значительно меньше принятой оценки времени образования Земли порядка 100 млн лет.

И, наконец, согласно теореме Геделя, которая утверждает, что полнота и непротиворечивость в рамках одной логической системы не сочетаются, модель образования Земли и всей Солнечной системы, претендуя на возможную полноту картины, не может не содержать некоторых неясностей и даже противоречий. Основная идея состоит в доказательстве, казалось бы, очевидного факта, что все элементы Солнечной системы (звезда, планеты и спутники) образовались одновременно и в едином процессе. Этот вывод приводит к пересмотру системы взглядов на звезды, коричневые карлики, большие и малые планеты и их спутники.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Магницкий В.А. Внутреннее строение и физика Земли. М.: Недра, 1965.
2. Козырев Н.А. Внутреннее устройство Юпитера // *Астрономический журнал*. 1977. Т. 54. С. 372–377.
3. Boss A.P. Formation of gas and ice giant planets // *Earth Planet. Sci. Lett.* 2002. V. 202. P. 513–523.
4. Allard F. A very cool customer // *Nature*. 1995. V. 378. P. 441–442.
5. Nelson L.A. A bright future for faint stars // *Nature*. 1995. V. 377. P. 102–103.
6. Rebolo R., Zapareto Osorio M.R., Martin E.L. Discovery of a brown dwarf in the Pleiades star cluster // *Nature*. 1995. V. 377. P. 129–131.
7. Throop H.B., Bally J., Esposito L.W., Mc Caughrean M.J. Evidence for dust grain growth in young circumstellar disks // *Science*. 2001. V. 292. P. 1686–1689.
8. Mc Caughrean M. et al. What is a Planet? // *Science*. 2001. V. 291. P. 1481.
9. Lissauer . What is a Planet? // *SCIENCE Online*. (www.sciencemag.org/cgi/content/full).
10. Кузнецов В.В. Модель горячей Земли (www.uiggm.nsc.ru/~kuz/site.htm) 2000.

The model of Solar System formation and evolution in the single mechanism of the Sun birth is present. Fractal dimensions, scaling, and bifurcation in the Solar System bear evidence of self-organization at the moment of its formation. Fractal dimensions (D) defined by planetary distance (R) vs. planet number (n) logarithmic relationships ($D = \lg R / \lg n$), are the same (1.75) for the terrestrial (inner) planets and increase with n for the giant outer planets

from 1.97 in the asteroid belt to 2.6 in Neptune. The behavior of the $D(n)$ function shows that the inner and outer planets formed in different conditions. The process of the Solar System formation must have undergone abrupt bifurcation in the region of the asteroid belt whereby the protosolar disc split into several disks and the formation of iron-rocky planet cores proceeded within each disk, by the same mechanism that produced the Sun. The Sun, the planets, and their satellites apparently formed in a single process, by the "hot" mechanism, and the formation of the planets and the satellites was only slightly longer than the Sun formation.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РАДИОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЕРХНЕЙ АТМОСФЕРЫ В ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ

Г.А. Жеребцов, В.И. Куркин, А.П. Потехин

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

В исследованиях верхней атмосферы, являющейся ключевым звеном в процессах взаимодействия нейтральной и ионизованной газовых оболочек Земли, радиофизические методы дистанционной диагностики играют важнейшую роль. В ИСЗФ СО РАН создан комплекс инструментов, с помощью которых ведутся исследования верхней атмосферы и распространения радиоволн в обширном регионе северо-востока страны. В его состав входят Иркутский радар НР, позволяющий измерять пространственно-временные распределения параметров ионосферы (концентрации, температур ионов и электронов, скорости дрейфа) и характеристики среднеширотных когерентных эх (радиоавроры); многопозиционный ионозонд наклонного зондирования с линейной модуляцией частоты, который состоит из трех передающих пунктов и одного приемного, является важнейшим звеном российской сети ЛЧМ-ионозондов и позволяет проводить исследования крупномасштабной структуры и динамики ионосферы в обширном регионе; два дигизонда DPS-4 (Иркутск, Норильск), на которых ведутся непрерывные наблюдения среднеширотной и субполярной ионосфер. Исследования проводятся на основе регулярных наблюдений и специальных экспериментов, в основном направленных на изучение возмущений ионосферы во время геомагнитных бурь и их влияния на распространение радиоволн. При этом используются текущие данные о состоянии космической погоды, что позволило зарегистрировать большую часть мощных возмущений последних лет.

В докладе представлены описание комплекса радиофизических инструментов и результаты исследований ионосферы и распространения декаметровых радиоволн в северо-восточном регионе России для различных сезонов и геомагнитных условий.

ФИЗИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ СВЯЗИ В СИСТЕМЕ ЛИТОСФЕРА–АТМОСФЕРА–ИОНОСФЕРА

В.А. Липеровский

Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва
liper@ifz.ru

PHYSICAL MODELS OF LITOSPHERE–ATMOSPHERE–IONOSPHERE COUPLING

V.A. Liperovsky

В лекции будет дан критический анализ существующих экспериментальных результатов и теоретических представлений о механизмах литосферно-ионосферной связи, обусловленной сейсмической активностью на заключительной стадии подготовки землетрясения, за несколько дней перед сильными землетрясениями. До сегодняшнего дня не существует общепринятой точки зрения, позволяющей интерпретировать наблюдения возмущений в ионосфере сейсмически активных регионов, хотя нет недостатка в гипотезах.

1. Гипотеза «акустико-гравитационных волн», возбуждаемых вблизи поверхности Земли благодаря ряду процессов, связанных с подготовкой землетрясений, – «акустико-гравитационная», в соответствии с которой генерируемые в области подготовки землетрясений атмосферные акустико-гравитационные волны распространяются через атмосферу и, доходя до ионосферных высот, приводят к возмущению ионосферы, благодаря столкновениям ионов с нейтралами. Сами волны могут быть связаны с «поршневым» движением земной коры, имеющей блоковую структуру, с нестабильными тепловыми аномалиями, вызванными выходом парниковых газов в атмосферу в разломных зонах земной коры.

2. Гипотеза «модификации проводимости в приземном слое атмосферы при инъекции радона». При выделении радона происходит дополнительная ионизация и модификация квазистационарного электрического поля между Землей и ионосферой на достаточно больших горизонтальных масштабах и, следовательно, рост вертикального тока между земной поверхностью и ионосферой. Повышенный электрический ток модифицирует ионосферное электрическое поле, которое, в свою очередь, модифицирует джоулев нагрев в слое Е. Соответственно, следствием будет вертикальное движение плазмы и возникновение ионосферных неоднородностей с характерным временем существования несколько часов.

3. «Акустико-электрическая», или гипотеза возбуждения E_s -генератора и мини-токовых систем в ночной Е-области ионосферы. Согласно этой гипотезе, объясняющей ионосферные эффекты на достаточно близких расстояниях в несколько сотен километров от будущих эпицентров, предполагалось наличие аку-

стических импульсов в области подготовки землетрясений, поднимающихся до ионосферных высот и генерирующих электрические поля в спорадических слоях.

4. «Резонансная» гипотеза предполагает наличие резонансных колебаний в системе Земля–ионосфера, при которых эта система, видимо, возбуждается, происходит раскачка электромагнитных колебаний, нагрев и дальнейшие его следствия в Е-области.

5. «Электрогравитационная гипотеза», согласно которой в области подготовки при наличии аэрозолей и дополнительной ионизации при выделении радона возникают электрогравитационные Френкелевские генераторы и мини-токовые системы с временами жизни порядка нескольких минут. Нестационарное разделение зарядов в отдельных облаках аэрозолей приводит к всплескам инфракрасного излучения и к передаче возмущений электрического поля вверх, в ионосферу.

6) «Электромагнитная» гипотеза, согласно которой литосферные возмущения электромагнитных полей непосредственно передаются через атмосферу в ионосферу.

Можно предполагать, что реально в природе работает совокупность ряда механизмов, о некоторых из которых здесь сказано. Могут быть и другие механизмы, их относительные роли мало изучены.

The critical analysis of modern experimental results and theoretical models of lithosphere-atmosphere-ionosphere coupling, caused by seismic activity during the last stage of earthquake preparation process, a few days before the strong earthquakes will be presented. The universal point of view to interpret observations of ionospheric disturbances above seismic regions does not exist up-to-date, in spite of the existence of the host of hypothesis..

1. «The acoustic-gravity waves» hypothesis. These waves are generated close to the Earth surface due to a number of lithosphere processes, caused by earthquake preparation. According to this hypothesis atmospheric acoustic-gravity waves propagate from region of earthquake preparation through atmosphere up to the ionospheric height and due to ion-neutral collisions produce ionospheric disturbances. The waves may be produced by the «piston» movement of the Earth crust, which has block structure and also with unstable thermal anomalies, caused by pollution of thermal gases in the atmosphere in fault zones of the Earth's crust.

2. The hypothesis of «modification of conductivity in the near-ground atmosphere under the radon injection». By radon injection additional ionization takes place, quasi-stationary electric field between the Earth's surface and the ionosphere is modified on the great areas, and vertical current between Earth's surface and ionosphere increased. Electric field in the ionosphere is modified, and in its turn the Joule heating is modified too. Also as a consequence the vertical plasma shifts and ionospheric inhomogeneous regions arise. The character time of their existence is about a few hours.

3. «Acoustic-electrical» or the hypothesis of «Es-generator and mini-current systems » in the night E-region of ionosphere. This hypothesis allows to interpret ionospheric effects close to the epicenters of the future earthquakes – up to a few hundred km. According to the hypothesis acoustic impulses from the region of earthquake preparation propagate up to the ionospheric height and generate electrical fields in sporadic layers.

4. «The resonance» hypothesis supplies the existence of resonance oscillations in the local system: the Earth-surface-ionosphere. Before earthquakes due to electromagnetic oscillations generated in this system the E-region heating takes place and a few further effects arise.

5. «Electric-gravity» hypothesis. Due to this one electric-gravity Frenkel generators and mini-current systems arise above the region of earthquake preparation under the presence of aerosols in the atmosphere and additional ionization caused by radon injection. The character time of these systems is about a few minutes. Non-stationary charge separation in clouds leads to splashes of infra-red radiation and to propagation of electrical disturbances up to the ionosphere.

6. «Electromagnetic» hypothesis. Due to this hypothesis electromagnetic fields disturbances generated in the lithosphere directly penetrate through the atmosphere in the ionosphere and cause ionospheric disturbances.

One could suppose that really before the earthquakes a combination of a few mentioned mechanisms takes place. Some other mechanisms could be also, their relative input is little studied up to now.

ФИЗИЧЕСКАЯ ПАРАДИГМА САМООРГАНИЗОВАННОЙ КРИТИЧНОСТИ И ЕЕ ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ЭРУПТИВНЫХ ПРОЦЕССОВ НА СОЛНЦЕ

¹**А.Р. Осокин**, ²**М.А. Лившиц**

¹Государственный астрономический институт им.П.К. Штернберга, arno@sai.msu.ru;

²ИЗМИРАН, maliv@mail.ru

PHYSICAL PARADIGM OF SELF-ORGANIZED CRITICALITY AND ITS APPLICATION FOR STUDY OF SOLAR ERUPTION PROCESSES

A.R. Osokin, M.A. Livshits

Современное развитие нелинейной динамики связано с формированием новой парадигмы, которую можно определить как парадигму сложности. В сферу ее интересов попадают необратимо развивающиеся сложные системы (экономика, экология, системы вооружений, общество), процессы в целостных многокомпонентных

системах (солнечная атмосфера, земная кора, техносфера). В последних случаях важно использование новой парадигмы для исследования катастрофических событий.

Событие воспринимается нами как катастрофическое или опасное, только если оно либо оказывается неожиданным (т.е. его не удастся предсказать), либо экстраординарным (т.е. выделяется из ряда родственных ему событий), либо и то и другое сразу. В обоих случаях можно заключить, что система, порождающая это событие, является сложной, поскольку от простых систем естественно было бы ожидать прозрачности и предсказуемости, с одной стороны, и единообразного поведения – с другой.

На математическом уровне сложность неразрывно связана с нелинейностью описания.

На физическом уровне описание, как правило, возможно лишь в статистических терминах, как то: плотность вероятности, корреляция, ляпуновские показатели, математическое ожидание, дисперсия и т.п.

На философском уровне наиболее существенным является осознание того обстоятельства, что чем более изощрен и специфичен механизм некоторого явления, тем реже оно должно реализовываться. А поскольку практически все сколько-нибудь важное или интересное в природе так или иначе связано со сложностью, то лежащие в ее основе механизмы должны быть просты и универсальны.

Как же соединить сложность с «простотой и универсальностью»? Надо сосредоточиться на универсальных нелинейных механизмах, приводящих к сложному поведению, требующему статистического описания.

Отличительной чертой многих сложных систем являются степенные законы распределения вероятностей (СЗРВ). Т.е. статистические характеристики происходящих в них событий обыкновенно имеют плотность вероятности вида

$$p(x) \sim x^{-(1+\alpha)},$$

где показатель α обычно лежит в диапазоне от нуля до единицы. При статистическом описании катастроф и стихийных бедствий это распределение является правилом, практически не знающим исключений. В качестве классического примера можно привести закон Рихтера–Гутенберга: зависимость количества землетрясений от их энергии определяется этой формулой с $\alpha \approx 2/3$ для землетрясений с магнитудой менее 7.5 и с $\alpha \approx 1$ для более сильных.

Для простых систем наиболее типичны экспоненциальное

$$p(x) \sim e^{-\lambda x}$$

и нормальное (гауссово)

$$p(x) \sim e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}}$$

распределения. Первое описывает поведение «элементарных» объектов: так распределены, например, телефонные разговоры по продолжительности или молекулы газа по энергии. Нормальному распределению подчиняются величины, получающиеся при сложении большого числа независимых случайных слагаемых, поэтому для сложных систем (если понимать их как состоящие из большого числа элементов) можно было бы ожидать именно гауссовой статистики. Однако, как показывают приведенные выше примеры, это зачастую не так. Разница между нормальным и степенным распределениями носит не формальный, а принципиальный характер. Если статистика системы описывается нормальным распределением, то свыше 99.7 % событий отклоняется от среднего значения m не более чем на 3σ (т.н. правило трех сигм), а, скажем, за 5σ выбивается и вовсе менее одного события на миллион. При этом появляется возможность «законно» пренебречь очень крупными событиями, считая их практически невероятными, т.е. можно отрезать хвост распределения. Этого принципиально нельзя сделать для степенного ряда, – нет среднего масштаба, к которому тяготеют параметры событий.

Сразу можно сказать о широко известном распределении параметров солнечных вспышек по степенному закону. Это и распределение энергии, где $\alpha_E = 1.45 \pm 0.15$, которое в настоящее время проверено на протяжении восьми порядков величины E . Более того, степенной вид имеют также распределения вспышек по амплитуде (пику мощности) P и длительностям T с показателями, составляющими соответственно $\alpha_P = 1.75 \pm 0.15$ и $\alpha_T = 1.6 \pm 0.6$. (Значительная неопределенность в значениях показателей объясняется не только недостатком статистики, но и сложностью сведения в единую систему данных, полученных в разных диапазонах частот).

Если степенное распределение имеет принципиальное значение для понимания поведения сложной системы, в нашем случае солнечной атмосферы, есть ли соответствующие этой задаче представления нелинейной динамики для нового описания?

Можно использовать «Теорию самоорганизованной критичности» (Self-Organized Criticality (SOC)), сформулированную в 1987 г. Баком и Тангом [1].

Можно пояснить смысл самоорганизации системы в критичное состояние, сравнив развитие лавины с формированием уединенного импульса-солитона. Развитие нелинейного процесса типа солитона происходит только в случае тонкой подстройки энергии, вызывающей движение, и соответствующей ее диссипации. (Начальные и граничные условия не должны препятствовать развитию нелинейных процессов этого движения.) В природе выполнение таких условий хотя и возможно, но является достаточно редким (к счастью, вспомним хотя бы о цунами, т.е. волне-солитоне, в Индийском океане 26 декабря 2004 г.).

При самоорганизации же системы в критическое состояние функция, описывающая диссипацию, изменяется таким образом, который обеспечивает достаточно длительное существование ее в критическом состоянии,

т.е. система сама, без внешних подстроек переходит (сваливается) в критическое состояние из любого другого положения. Очевидно, что существует некоторый управляющий параметр, критическое значение которого и соответствует самоорганизации. Например, горка песка при насыпании песчинок сверху до некоторого угла наклона образующей конуса резко не разрушается, а при превышении этого значения угла образование лавины песчинок является неизбежным. Каждый может наблюдать этот процесс возникновения песчаных лавин и подстройки наклона горки в песочных часах.

И вот что необходимо отметить. В описываемом случае наклон горки зависит только от взаимодействий между отдельными песчинками – маленькими элементами системы по сравнению с самими лавинами. В этом случае мы принципиально не можем выделить параметр этого процесса, «ответственный» за объем сходящих лавин. Тогда и распределение объема лавин должно быть степенным, что и происходит на самом деле. Кстати, теорию самоорганизованной критичности еще иногда называют теорией горки песка, поскольку именно эту модель использовали родоначальники теории.

Переходя к проблемам солнечных вспышек, мы также, зная о распределении их параметров по степенному закону, принципиально не можем выделить масштаб, который можно считать основным для описания МГД-взаимодействия в создании соответствующей модели.

Стоит сказать, что попытка объяснить степенное распределение вспышек в рамках МГД-теории была предпринята Рознером и Ваяаной [2] в 1978 г. Однако, как и следовало ожидать, в ней возникает некоторый масштаб энергии, меньше которого степенное распределение нарушалось. Наблюдательные же данные показывают, что степенной закон распространяется вплоть до уровня энергий рентгеновских микровспышек.

В 1991 г. положения теории самоорганизованной критичности впервые были использованы для моделирования солнечных вспышек. В своей работе Лю и Гамильтон [3] предположили, что сама солнечная корона находится в самоорганизованно-критичном состоянии. Роль песчинок выполняли сильно закрученные магнитные поля. Приводом модели (песчинки, падающие сверху) служили всплывающие магнитные потоки. При накоплении достаточно большой их плотности происходил процесс магнитного пересоединения, лавиной затрагивающий большие объемы короны с магнитным полем. Подобная лавина пересоединений считалась вспышкой, энергия, выделяющаяся при диссипации магнитного поля, – энергией вспышки. Лю и Гамильтон получили хорошее совпадение распределения энергии смоделированных лавин-вспышек с наблюдаемым степенным распределением энергии вспышек на Солнце.

Эта работа сама вызвала целую лавину SOC-моделей – за 10 лет около 30 статей в известных журналах.

Надо отметить один важный недостаток моделей Лю, Гамильтона и их последователей – оторванность абстрактных представлений о солнечной короне в состоянии самоорганизованной критичности от хорошо известных реальных наблюдательных данных о появлении активных областей, всплывании магнитных потоков, развитии сопутствующих вспышке процессов и т.д.

Этот недостаток мы попытались исправить, предложив свою SOC-модель солнечных вспышек [4]. Мы прежде всего видели задачу в наибольшем приближении к реальным физическим процессам, наблюдаемым на Солнце. При этом мы исходили из базового для синергетики предположения, что среди множества различных процессов должен быть один доминирующий, ответственный за выделение основной доли энергии, под который так или иначе подстраиваются все остальные.

Энергия, поступающая в хромосферу, заключена во вмороженном в плазму магнитном поле, имеющем конфигурацию трубок. Анализ магнитограмм Солнца с высоким разрешением показывает, что на его поверхности постоянно возникают и исчезают небольшие петельки, переплетение которых напоминает ковер. Конфигурация «ковра» быстро меняется, причем локальное увеличение яркости совпадает с исчезновением петель, которое обозначает, что все они пересоединились и исчезли. Сам этот факт в корне меняет существующие взгляды на магнитную активность солнечной атмосферы, так как наличие такого магнитного ковра ощутимо повышает объем энергии, доступной для подогрева короны, поскольку казавшаяся ранее магнитонейтральной фотосфера оказывается состоящей из областей смешанной полярности.

Учитывая это обстоятельство, мы положили в основу нашей модели представление о магнитных элементах, являющихся точками выхода в фотосферу мелкомасштабных трубок вмороженного в плазму магнитного поля, параллельных друг другу и направленных по радиусу Солнца. При этом мы предполагаем, что процессы, происходящие с магнитным полем в короне, являются следствием процессов, происходящих с магнитными элементами в фотосфере, т.е. что доминирующий процесс происходит там, где сосредоточена основная доля вещества и энергии.

При моделировании мы рассматривали фотосферу как двумерную решетку с периодическими условиями на границах, в ячейках которой могут располагаться магнитные элементы, величина которых измеряется целыми числами. Знак этих чисел определяет направление поля, а величина – энергию, заключенную в элементе. Под действием турбулентного движения плазмы элементы могут перемещаться по поверхности фотосферы. Если при этом магнитный элемент попадает в ячейку, где находится хотя бы один элемент противоположного знака, то между ними происходит аннигиляция (если в ячейке находится несколько противоположно заряженных элементов, то выбирается наугад один из них), заключающаяся в уменьшении на единицу их абсолютных величин (если в результате элемент становится нулевым, то он исчезает). Выделившаяся при этом энергия вызывает волну возмущения плазмы, распространяющуюся в разные стороны, в результате чего каждый из элементов, оказавшихся в ячейке, где произошла аннигиляция, перемещается в ячейку, случайно выбранную сре-

ди восьми соседних. Это может, в свою очередь, привести к аннигиляциям там и т.д., т.е. к развитию лавины аннигиляций.

Описанная модель является самоорганизованно критической, т.е. независимо от начального состояния эволюционирует к критической точке, в которой характеризуется степенными зависимостями.

В дальнейшем было учтено движение элементов в направлении нейтральной линии среднего фонового магнитного поля активной области, которое может приводить к пересоединению в области каспа, вызывая тем самым вспышку и поддерживая ее существование в течение определенного времени. Кроме того, для изучаемой модели солнечных вспышек разработана компьютерная программа, визуализирующая процесс развития вспышечного события в режиме мультфильма. Таким образом мы можем наблюдать модель развития вспышки – лавины по нейтральной линии и изучать развитие не абстрактных событий, а процессов, сопоставимых с наблюдательными данными.

В заключение надо отметить, что использование «Теории самоорганизованной критичности» для моделирования солнечной активности, кроме объяснения степенных закономерностей, дает аргументы в пользу того, что само возникновение большой вспышки не может рассматриваться как строго детерминированный процесс, а представляет собой явление, которое при данном состоянии МГД-конфигурации может или появиться, или не появиться, т.е. существует только некоторая вероятность его возникновения.

Можно допустить, что в МГД-конфигурации, например, при всплытии нового магнитного потока, над фотосферой может накапливаться энергия, избыточная по отношению к энергии потенциального поля. Эффекты освобождения этой энергии могут происходить или достаточно часто малыми порциями, или редко, но приводя к мощным процессам. С этим характером освобождения энергии и связан в основном вероятностный характер появления вспышки. Эти соображения несколько изменяют подход к прогнозированию солнечных процессов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bak P., Tang C., Wiesenfeld K. 1987.
2. Rosner R., Viana G.S. Cosmic flare transients: constraints upon models for energy storage and release derived from the event frequency distribution // *Astrophys. J.* 1978. 222. P. 1104.
3. Lu E.T., Hamilton R.J. Avalanches and distribution of solar flares // *Ap. J.* 1991. 380, L89–L92.
4. Andrew. V. Podlazarov, Alexei R. Osokin Self Organized Critical Model of Solar Plasma Eruption Processes // *Astrophys. and Space Science.* 2002. 282. P. 1–6.

The modern development of nonlinear dynamics is connected to formation new paradigm, which can be defined as paradigm of complexity. In sphere of its interests there is irreversible developing complex systems (economy, ecology, arms systems, society), processes of complete multicomponent systems (solar atmosphere, terrestrial kop, technosphere). In last cases to use new paradigms for research of catastrophic events is important.

The event is catastrophic or dangerous for us, only if it is appears unexpected (i.e. it is fails to predict), or extraordinary (i.e. there is allocated from a number of related events), or both at once. In this cases it is possible to conclude: the system that the inducing this event is complex, as from simple systems it would be to expect both a transparency and a predictability, on the one hand, and uniform behavior – with another.

At a mathematical it is indissolubly connected to nonlinearity of the description.

At a physical, as a rule, it is possible only in the statistical terms: density of probability, correlation, Lyapunov parameters, mathematical expectation, dispersion etc.

At a philosophical it most essential is the comprehension of the circumstance that the more the mechanism of some phenomenon is specific, the less often it should be realized. And as practically all little more important or interesting in a nature is connected to complexity, the basis mechanisms should be simple and are universal.

How to connect complexity with "by simplicity and universality"? It is necessary to concentrate on universal nonlinear mechanisms resulting in complex behavior, that requiring statistical description.

Distinctive feature of many complex systems are the power law distributions of probabilities. I.e. statistical characteristics of events is ordinary having density of probability of a kind

$$p(x) \sim x^{-(1+\alpha)}.$$

The parameter α usually locate from zero to unit. For the statistical description of accidents and acts of nature this distribution is a rule practically without of exceptions. As a classical example there is Richter- Gutenberg low: the dependence of quantity of earthquakes on their energy is determined by this formula with $\alpha \approx 2/3$ for earthquakes with magnitude less than 7.5; and with $\alpha \approx 1$ for stronger. Precisely as are distributed: hurricanes $\alpha \approx 0.4 \div 0.6$, and also floods and tornados $\alpha \approx 1.4$; the area of wood fires $\alpha \approx 0.59$; fluctuations of exchange indexes $\alpha = 1.40$; weight of avalanches.

Of simple systems are most typical exponential

$$p(x) \sim e^{-\lambda x}$$

and normal (Gauss)

$$p(x) \sim e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}}$$

distributions. First describes behavior of "elementary" objects: so, for example, telephone conversations on duration or molecule of gas on energy are distributed. The sizes which are turning out at addition of the large number independent casual composed, therefore for complex systems submit to normal distribution (if to understand them as consisting from the large number of elements) it would be possible to expect of Gauss statistics. However, as show above-mentioned examples, it frequently not so. The difference between normal and power distributions has not formal, but basic character. If the statistics of system is described by normal distribution, more than 99.7 % of events deviates average value m no more than on 3σ (so-called "three sigma rule"), and for 5σ less than one event on a million is out of at all. Thus there is an opportunity "lawfully" to neglect very large events, considering them practically improbable, i.e. it is possible to cut off a tail of distribution. It cannot be made for a sedate number, - there is no average scale, to which the parameters of events gravitate.

At once it is possible to tell about well-known distribution of parameters of solar flares in the power law. They are: distribution of energy – where $\alpha_E = 1.45 \pm 0.15$, which now is checked up during eight degrees of E . Moreover, power is kind the distributions of flares on amplitude (peak of capacity) P take place also, and duration T with parameters making accordingly $\alpha_P = 1.75 \pm 0.15$ and $\alpha_T = 1.6 \pm 0.6$ (significant uncertainty of parameters is explained not only lack of statistics, but also complexity of the item of information in uniform system.)

If the power distribution has basic value for understanding of behavior of complex system, in our case of a solar atmosphere, how it is possible to use new performances of nonlinear dynamics for the new description?

For this purpose it is possible to use the Theory of self-organized criticality – SOC, that is formulated in 1987 by Bak and Tang [1].

It is possible to explain the idea of self-organizing of system in a critical state, having compared development of an avalanche with formation of a lonely pulse-soliton. The development of nonlinear process such as soliton occurs only in case of tuning of energy causing movement, and appropriate its dissipation. (the initial and boundary conditions should not interfere with development of nonlinear processes of this movement.) In a nature the performance of such conditions is possible, but is rare enough (fortunately, let's recollect even a tsunami, i.e. wave-soliton, at the Indian ocean of December 26, 2004).

At self-organizing system in a critical state the function describing dissipation, changes thus, which provides long enough existence it in a critical state. That is the system itself, without external fine tunings passes (is dumped) in a critical state from any other situation. It is obvious, that there is some managing parameter, which critical value corresponds to self-organizing. For example, a sand pile to sand from above up to some inclination of forming of an inclination sharply does not collapse, and at excess of this value of a inclination the formation of an avalanche sand granules is inevitable. Everyone can observe this processes of occurrence of sandy avalanches and tuning of an inclination sand-pile in a sand-glass.

Also that is necessary to note. In a described case the inclination of pile depends only on interactions between separate granules, - small elements of system in comparison with avalanches. In this case we essentially cannot allocate parameter of this process "responsible" for volume of descending avalanches. Then also distribution of volume of avalanches should be power, as occurs actually. By the way, the theory self-organized criticality still sometimes name as the theory of sand pile, as this model was used by ancestors of the theory.

It is necessary to tell, that attempt to explain power distribution of flares in frameworks MGD- theory was is undertaken by Rosner and Viana [2] in 1978. However, as well as it was necessary to expect, there is some scale of energy, it is less which power distribution was broken. The observant data show, that the power law is distributed down to a energy of x-ray microflares.

In 1991 the idea to explain power distribution of the theory self-organized criticality were used for modeling solar flares. In the work by Lu and Hamilton [3] have assumed, that solar corona is in self-organized critical state. The role of sand granules was carried out by the strongly twirled magnetic fields. The drive of model (granules falling from above) was served by magnetic flows. At accumulation their large density suffices there was a process magnetic reconnection; avalanche of them touching the large volumes of a corona to a magnetic field. The similar reconnection avalanche was considered as flare, energy allocated at dissipation of a magnetic field - as energy of flare. Lu and Hamilton have received good concurrence distribution of energy of the simulated avalanches of flares with observable power distribution of energy of flares on the Sun.

This work itself has caused the whole avalanche SOC of models, – for 10 years about 30 clauses in known magazines.

It is necessary to note one important lack of models of Lu, Hamilton and their followers are abstract performances about a solar crown in a status self-organized criticality and well known real observant data on occurrence of active areas, magnetic flows, development of processes, accompanying flare, etc.

This lack we have tried to correct, having offered SOC model of solar flares [4].

So we propose a different approach to the self-organized critical description of solar flares. Our model is based up on new observation data on the structure of the magnetic fields in the solar atmosphere. While observed at a high resolution the solar surface resembles a carpet consisted of microtubes of magnetic field. Local energy releases are related with simplification of the carpet structure or with disappearance of microtubes.

We can characterize the microtubes only by theirs two-dimensional coordinates and theirs magnetic field by the amount of accumulated energy.

Characterized in such way microtubes will be referred to as magnetic elements. The absolute value and the charge of element describes accumulated energy and the direction of the field of the microtube respectively. In our model the

release of energy corresponds to a partial annihilation of magnetic elements of opposite signs (oppositely directed microtubes).

Our model is a simple cellular automaton representing the active region by means of a two-dimensional rectangular lattice with periodic boundary conditions. Each lattice cell can contain one or more magnetic elements or it can be empty.

Any release of energy in a cell causes an outward disturbance wave. This wave carries out all elements from the cell to its neighbors picked out at random among eight adjacent cells. These elements can also cause annihilations there resulting in an avalanche of annihilations. Such avalanche is nothing else than flare. If the transfer of elements doesn't give rise to new annihilations then the avalanche is over and repeats.

In this model we neglect any motion of plasma in an active region except from disturbance wave forced by the energy of annihilations. This assumption is reasonable since there is no significant convection in the chromosphere.

The model self-organizes into the critical state regardless initial conditions.

Further the movement of elements in a direction of a neutral line was taken into account that can result to reconnection in area "kasp", causing thus flare and supporting its existence during the certain time. Besides for investigated model of solar flares the computer program for visualization process of development flares "in a mode animation" is developed. Thus, we can observe model of development of flare – avalanche on a neutral line and to study development not of abstract events, and processes comparable to the observant data.

In summary it is necessary to note, that use of the Theory of self-organized criticality for modeling solar activity except for an explanation of power laws gives arguments that occurrence of the large flare can not be examined as the strictly determined process, and represents the phenomenon, which at the given status MGD can either appear, or not appear, i.e. there is only some probability of its occurrence. I.e. there is only some probability of its occurrence.

The effects of dissipation of the energy can occur or enough frequently by small portions, or rare by powerful processes. To this character of dissipation of energy also is connected, basically, probability character of occurrence of flare. These reasons are changed by the approach to forecasting solar processes.

ПРОЕКТ ИНТЕРБОЛ-ЭКСПЕРИМЕНТ УФСИПС – ИЗМЕРЕНИЯ В ЗОНЕ АВРОРАЛЬНОГО ОВАЛА И РЕЗУЛЬТАТЫ

¹К. Палазов, ¹А. Манев, ¹А. Бочев, ¹Ст. Спасов, ¹П. Стоева, ¹В. Ташев, ¹М. Попов, ²П. Гецов,
²Ж. Жеков, ²Г. Мардиросиян, ³А. Кузмин, ³В. Прохоренко, ³Н. Есмонт, ⁴К. Чиков, ⁴А. Сандуков

¹Центральная лаборатория солнечно-земных связей, БАН, София, Болгария (kpalazov@stil-sz.org);

²Институт космических исследований БАН, София, Болгария;

³Институт космических исследований РАН, Москва, Россия;

⁴Институт точной механики и оптики, Санкт-Петербург, Россия

Одной из основных целей и задач международного космического проекта Интербол является исследование солнечно-земных взаимодействий в зоне аврорального овала. Оптический эксперимент УФСИПС (ультрафиолетовая система для исследования полярных сияний) реализован с UV- спектрометром УФСИПС на спутнике «Авроральный зонд»; в проекте Интербол предполагается измерение широтных профилей интенсивности эмиссий верхней полярной атмосферы, проходящих через окрестность подножной точки силовой линии магнитного поля, на которой в момент измерений находится спутник.

Спектрометр был разработан и изготовлен совместно Стара-Загорским филиалом Центральной лаборатории солнечно-земных связей БАН, Санкт-Петербургским институтом точной механики и оптики, и Институтом космических исследований РАН. Основным преимуществом дистанционного метода является возможность измерений распределений интенсивности выбранных эмиссий одновременно на большой площади, определяемой полем изображения и высотой спутника. В УФ-спектрометре УФСИПС угол поля зрения составляет доли градуса (0.3°), а реальная ширина спектральной полосы 32 Å. Измерения распределений интенсивностей эмиссий в области вакуумного ультрафиолета имеют особое преимущество благодаря поглощению ультрафиолетового излучения подстилающим слоем молекулярного кислорода в области континуума Шумана-Рунге (1300–1600 Å с максимумом в области 1400–1425 Å). В первый спектральный интервал прибора, центрированный на длину волны 1304 Å, попадает излучение самой интенсивной эмиссии атомарного кислорода, представляющей собой триплет (1302-04-06 Å). Во второй спектральный интервал измерений спектрометра попадает излучение спиново-запрещенного дублета атомарного кислорода с длиной волны 1356-9 Å, возбуждаемого в полярных сияниях. В третьем спектральном интервале 1493 Å измеряется излучение атомарного азота. Прибор УФСИПС построен по классической схеме бесщелевого спектрографа с плоской дифракционной решеткой. Излучение от наблюдаемой в конкретный момент времени области свечения, размер которой определяется углом поля зрения 0.3° и высотой спутника, направляется плоским зеркалом в прибор.

Диаметр мгновенной области свечения, охватываемой пространственным углом поля зрения с высоты апогея спутника, составляет примерно 100 км. Измерения при пересечении полем зрения области свечения (скан) осуществляются по мере вращения спутника вокруг спиновой оси в плоскости, перпендикулярной направлению на Солнце. Для наведения на выбранную область аврорального овала в оптической схеме УФ-спектрометра УФСИПС было предусмотрено, чтобы его входное плоское зеркало имело возможность

перемещаться от среднего положения на угол $\pm 11^\circ$ с мелким шагом (всего 102 позиции, диапазон углов, образованных с осью X в плоскости Солнце–спутник–Земля, составляет от 38 до 82°).

Режим измерений спектрометра синхронизуется от импульса, поступающего от канадского имиджера UVA1 в момент времени, когда его специальный датчик пересекает горизонт Земли. После получения синхроимпульса и отсчета времени задержки спектрометр УФСИС делает 36 измерений с заданным временем экспозиции, и затем полученная информация передается в систему сбора научной информации (ССНИ) спутника. В другом режиме работы спектрометра проводились квазинепрерывные измерения без внешней синхронизации. В этом режиме прибор делал 288 измерений с заданным временем экспозиции, пока не поступала команда об изменении режима.

Со второй декады октября 1996 г. проводились измерения. Представлены предварительные результаты измерения профилей интенсивности кислородных эмиссий 1304 и 1356 Å, полученные во время одного из сканов 19 октября 1996 г. на орбите 216 во время суббури в возмущенных геомагнитных условиях, когда наблюдались полярные сияния балла II–III. Показана магнитограмма, полученная с помощью магнитометра ИМАП-3, также установленного на борту «Аврорального зонда» вместе с УФСИС.

На отдельной фигуре показан вид на северную земную полусферу с высоты спутника в момент измерений. Условно показано расположение аврорального овала при планетарном индексе $K_p = 5+$ (для трехчасового интервала с 21 до 24 ч 19 октября 1996 г). Поле зрения спектрометра пересекло авроральный овал по хорде через ранний утренний сектор, затем вдоль полярного края полуночного аврорального овала, а затем через вечерний сектор. Подножная точка магнитной силовой линии оказалась в утренней части овала. Ее расчетные координаты в момент времени 22:49:03 UT для высоты 150 км были следующие: географическая широта 74.3° , географическая долгота 32.7° , геомагнитное местное время MLT = 3.04 ч, высота тени $H_{shade} = 647$ км. Утренняя часть спектрометрического сечения овала прошла над Скандинавским полуостровом. Рассмотрена магнитограмма, полученная в Кируне ($Lat = 67.8^\circ$, $Long = 20.4^\circ$), которая показывает, что измерения проводились в конце максимальной фазы суббури и начале фазы восстановления. Показаны также проекция орбиты спутника в координатах инвариантная широта–MLT. Время, близкое к моменту спектрофотометрических измерений (22:49:00 UT) показано жирной точкой. В 22:49:03 спутник находился в точке со следующими координатами: инвариантная широта 71.0° и MLT = 2.31 ч. Высота максимума излучения кислородных УФ-эмиссий (1304 и 1356 Å) составляет 150 км.

РАДИОАСТРОНОМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СОЛНЕЧНОЙ АТМОСФЕРЫ

Д.В. Просовецкий, С.В. Лесовой

Институт солнечно-земной физики СО РАН, proso@iszf.irk.ru

Наблюдения Солнца в радиодиапазоне дают важные сведения о процессах, происходящих на самой близкой к нам звезде. Особенности генерации и распространения радиоволн от миллиметрового до метрового диапазонов длин волн позволяют получать информацию о трехмерной пространственной структуре плазменных образований в атмосфере Солнца, судить об их изменениях в широких временных масштабах и на высотах от фотосферы до короны. В совокупности с наблюдениями оптической части солнечного спектра, рентгеновского и ультрафиолетового излучения радионаблюдения Солнца дают возможность предсказывать космическую погоду, разрешить существующие проблемы солнечной физики.

РАДИОИЗЛУЧЕНИЕ СОЛНЦА И ОКОЛОЗЕМНЫЙ КОСМОС

Г.Я. Смольков

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

RADIOEMISSION OF THE SUN AND THE ENVIRONMENT

G.Ya. Smolkov

Радиоизлучение Солнца не приносит заметной энергии в межпланетную среду и в окрестности Земли. Поэтому прямого воздействия на эти области и геофизическую обстановку оно не оказывает. Но оно содержит очень полезную информацию о событиях в солнечной атмосфере, определяющих характер развития солнечно-земных связей и условий космической погоды. Эффективность использования такой информации зависит от методов и техники регистрации солнечного радиоизлучения, уровня его интерпретации. Информация в основном согласуется с данными, получаемыми наземными и орбитальными обсерваториями в других диапазонах длин волн, может существенно их дополнять, но радиоизлучение может быть и единственным источником сведений о процессах, происходящих на Солнце. В нем эффективно проявляются процессы накопления и трансформации магнитной энергии, зарождение и особенности развития активных областей, вспышек и выбросов корональной массы, формирование и ускорение потоков энергичных частиц, ударные волны в солнечной атмосфере и гелиосфере, корональные дыры и др. Радиопризнаки подготовки

вспышек и особенности их радиоспектров позволили существенно развить научные основы прогнозирования вспышек и выбросов корональной массы, степени и характера их геоэффективности. Мониторинг солнечной активности в радиоизлучении не зависит от погодных условий. При этом наблюдаются проявления всех форм солнечной активности в короне, причем, что особенно важно, на фоне солнечного диска. Оценивать напряженность магнитного поля в короне возможно до сих пор только по характеристикам ее радиоизлучения.

Работы Радиоастрофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН в этом направлении поддерживаются Сибирским отделением РАН и Минобрнауки РФ: ФНТП «Астрономия», Уникальные установки – 01-27 (ССРТ) и ведущие научные школы – НШ-477.2003.2.

The radioemission of the Sun does not bring appreciable energy to interplanetary environment and in a vicinity of the Earth. Therefore of direct influence on these areas and geophysical conditions it does not render. But it contains the very useful information about events in a solar atmosphere determining character of development of solar-terrestrial connections and conditions of space weather. The efficiency of use of such information depends of methods and engineering of registration of solar radioemission, level of its interpretation and art of radiodiagnostics of potential geoefficiency of solar events. It basically will be coordinated with data, received ground and orbital observatories in other ranges, can essentially them supplement, but can be the only source of information about processes occurring on the Sun. In its the processes of accumulation and transformation of magnetic energy, origin and features of development of active areas, flares and coronal mass ejections (CME), formation and acceleration of fluxes of energetic particles, shock waves and coronal holes in a solar atmosphere and heliosphere are effectively shown. Radiosignatures of preparation of flares and the peculiarities of their radiospectra have allowed essentially to develop scientific bases of forecasting of flares and CME, degree and character of their geoefficiency. The monitoring of solar activity in radoradiation does not depend on weather conditions. Thus the displays of all forms of solar activity in a corona are observed, and, that is especially important for localization began of events, on a background of a solar disk. To estimate of a magnetic field in a corona it is possible till now only under the characteristics its of radioemission. The modernization of using solar radiotelescopes and the creations of ones of new generation are arranged.

The works ISTP Radioastrophysical observatory in this direction are maintained by the RAS Siberian Branch and Ministry of Education and Science of Russian Federation: FSTP "Astronomy", Unique installations - #01-27 (SSRT) and Leading scientific schools - NSh-477.2003.2.

ЛАБОРАТОРНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПО ДИНАМИКЕ ТОКОВЫХ СЛОЕВ И ВСПЫШЕЧНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ПЛАЗМЕ

А.Г. Франк, С.Ю. Богданов, С.Г. Бугров, Н.П. Кирий, В.С. Марков

Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва, Россия
annfrank@fpl.gpi.ru

LABORATORY EXPERIMENTS ON THE DYNAMICS OF CURRENT SHEETS, AND FLARE-TYPE PHENOMENA IN PLASMAS

A.G. Frank, S.Yu. Bogdanov, S.G. Bugrov, N.P. Kyrie, V.S. Markov, A.M. Prokhorov

Формирование токовых слоев, разделяющих магнитные силовые линии различных (или противоположных) направлений, – необходимое условие для осуществления процессов магнитного пересоединения в высокопроводящей замагнитченной плазме. Формирование токового слоя обеспечивает накопление избыточной магнитной энергии, которая затем может высвобождаться, преобразуясь в другие виды энергии. Имеются веские основания считать, что магнитное пересоединение лежит в основе самых различных явлений вспышечного типа, таких как вспышки на Солнце и звездах, суббури в магнитосферах Земли и других планет, неустойчивости срыва в токамаках, быстрая перестройка магнитной структуры в конфигурациях с обращенными полями, в Z- и Θ -пинчах и т.п. В магнитных конфигурациях достаточно сложной структуры токовые слои могут возникать лишь в некоторых выделенных областях пространства и наиболее известный пример – окрестность нулевой линии X-типа двумерного (2D) магнитного поля. Эволюция токовых слоев, сформированных в магнитных 2D-полях с нулевыми линиями, активно исследовалась как теоретически, так и экспериментально. Установлено, что токовые слои, в окрестности которых сосредоточена избыточная магнитная энергия, могут находиться в метастабильном состоянии в течение весьма продолжительных интервалов времени. Затем метастабильная стадия эволюции может внезапно прерываться разрывом слоя, во время которого наблюдаются основные процессы, характерные для явлений вспышечного типа, в том числе быстрые изменения топологии магнитного поля, интенсивный нагрев плазмы, генерация высокоскоростных потоков плазмы, ускорение заряженных частиц. Внутренняя магнитная структура слоя в значительной степени определяет особенности магнитного пересоединения и пути преобразования магнитной энергии: либо в тепловую энергию плазмы, либо в кинетическую энергию плазмы и ускоренных частиц.

В настоящее время наибольший интерес представляют исследования процессов магнитного пересоединения в трехмерных (3D) магнитных конфигурациях, которые являются не только более общими, чем 2D-конфигурации, но и наиболее типичными как для астрофизических объектов, так и для лабораторных установок.

Экспериментальные исследования магнитного пересоединения в 3D-конфигурациях были начаты в 1990-х гг. в США, Японии и России. Созданные установки существенно различаются по геометрии (кольцевые или линейные токовые слои), временным характеристикам, параметрам плазмы, магнитных полей и электрических токов. Было обнаружено, что токовые слои могут формироваться в 3D-конфигурациях, в окрестности нулевых точек и X-линий. Были выявлены зависимости между свойствами токовых слоев и структурой исходных магнитных 3D-конфигураций, в том числе влияние продольной компоненты магнитного поля, направленной вдоль X-линии. В результате анализа пространственных распределений плотности плазмы, электрических токов и магнитных полей были обнаружены два новых эффекта. Во-первых, это уменьшение степени сжатия плазмы при увеличении продольного поля, т.е. постепенный переход к несжимаемой плазме, что обусловлено усилением в слое продольного поля. Во-вторых, это деформация слоя, вызванная взаимодействием продольного поля с возбуждаемыми в слое токами Холла.

Таким образом, исследования динамики токовых слоев в лабораторной плазме позволяют существенно продвинуться в понимании природы вспышечных явлений.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ, проект 03-02-17282, и МНТЦ, проект 2098.

The formation of a current sheet, which separates differently directed magnetic field lines, is a key prerequisite to magnetic reconnection processes in highly conductive magnetized plasmas. The occurrence of a current sheet provides the magnetic energy accumulation, which can be followed by a fast liberation and transformation of this energy into other forms. There are good reasons to believe that magnetic reconnection constitutes the basis for various flare-type phenomena, such as solar and stellar flares, substorms in the magnetospheres of the Earth and planets, sawtooth instabilities in tokamaks, rapid changes in the magnetic field structure in reversed-field pinches, Z- and Θ -pinches, etc. In the complex magnetic configurations, current sheets can form in distinct regions, the best-known example being the vicinity of a null-line of X type in the two-dimensional (2D) magnetic field. The evolution of current sheets in the 2D magnetic fields with null-lines was actively investigated both theoretically and experimentally. It was established that the current sheet could accumulate an excess of magnetic energy and could exist in a metastable state over a prolonged period of time. In many cases the metastable stage was interrupted by the sheet disruption, which displays principal features of flare-type events: rapid changes in the magnetic field topology, intense plasma heating, generation of plasma flows and accelerated electrons. The internal magnetic structure of the sheet imparts some typical features of the magnetic reconnection, especially the dominant form of the magnetic energy conversion: either into the thermal plasma energy or into the kinetic energy of plasma flows and accelerated particles.

There is a strong trend now towards the research of magnetic reconnection in the three-dimensional (3D) magnetic configurations, which are not only more general than the 2D ones, but also more typical for astrophysical objects and for laboratory plasma confinement devices. Experimental studies of magnetic reconnection in the 3D configurations were initiated in the 1990s in the USA, Japan and Russia, while the various experimental devices differ significantly by their geometry (annular or linear current sheets), time-scale, parameters of plasmas, magnetic fields and electric currents. It was revealed that current sheets could be formed in 3D configurations with topological singularities, such as isolated null-points and X lines. Of a principal importance is the correlation between characteristic features of a current sheet and the structure of the initial 3D magnetic configuration, especially an impact of the guide field aligned along the X-line. The analysis of spatial distributions of the plasma density, electric currents and magnetic fields allowed revealing two effects of the guide field. The first one is a progressive decrease of the plasma compression ratio in response to increasing the initial guide field. This effect displays a gradual transition to the behavior of incompressible plasma, and it is due to an enhancement of the guide field inside the sheet. The second effect is the sheet deformation caused by interaction of the guide field with the Hall currents excited in the sheet.

In summary it may be concluded that investigations on the dynamics of current sheets produced in the well-controlled laboratory plasmas can give us a better insight into the nature of various flare-type phenomena initiated by the magnetic reconnection processes.

The work is supported in part by the Russian Foundation for Basic Research, grant 03-02-17282, and by the International Science & Technology Center, project 2098.

ФОРБУШ ПОНИЖЕНИЯ И ЭФФЕКТЫ ТЕРМИНАТОРА В АТМОСФЕРНОМ ЭЛЕКТРИЧЕСТВЕ КАМЧАТКИ

Н.В. Чернева, В.В. Кузнецов

Институт космифизики и распространения радиоволн ДВО РАН, п. Паратунка, Камчатка
vvk@ikir.kamchatka.ru

FORBUSH DECREASES AND TERMINATOR'S EFFECTS IN KAMCHATKA'S ATMOSPHERIC ELECTRICITY

N.V. Cherneva, V.V. Kuznetsov

Сообщается об исследованиях атмосферного электрического поля, выполненных в геофизической обсерватории Паратунка ИКИР ДВО РАН. Анализу подвергались лишь дни с хорошей погодой. В результате

проведенных наблюдений выявлены эффекты терминатора: электрическое поле возрастает в моменты рассвета практически регулярно, и значительно реже такой эффект наблюдается на закате. Величина эффекта не превышает 20–30 % от средней величины поля. Ночью и зимой напряженность атмосферного электрического поля выше, чем днем и летом. В дни хорошей погоды в моменты прохождения геомагнитных возмущений одновременно с Форбуш-понижениями наблюдались эффекты понижения величины поля. Степень понижения поля коррелирует со степенью понижения интенсивности нейтронов на супермониторах. Зарегистрированы случаи одновременной регистрации эффектов терминатора во время Форбуш-понижений. В вариациях электрического поля эти эффекты имеют один порядок.

Природа атмосферного электрического поля остается неясной, несмотря на большое количество исследований, проводимых в различных странах. До недавнего времени считалось, что возникновение атмосферного электрического поля полностью определяется грозовой деятельностью. Накопленный в последние годы материал, имеющий отношение

It is reported about the atmospheric electrical field investigations, which were carried out at Paratunka geophysical observatory of IKIR FEB RAS (Institute of Space Physical Researches and Radio Wave Propagation, Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences). Only “fair-weather” days were analyzed. As the result of the performed work terminator’s effects were discovered: the electrical field increases regularly at dawn and less frequently at sunset. The quantity of the effect doesn’t exceed 20-30% of the average field value. At night time and in winter the atmospheric electrical field’s strength is higher than at daytime and in summer. The effects of field value decrease were observed on “fair-weather” days at the moments of geomagnetic disturbance passing simultaneously with Forbush decreases. The degree of the field decrease correlates with the degree of neutron intensity decrease on supermonitors. Some cases of simultaneous recording of terminator’s effects during Forbush decreases were registered. These are the effects of the same order in the electrical field variations.